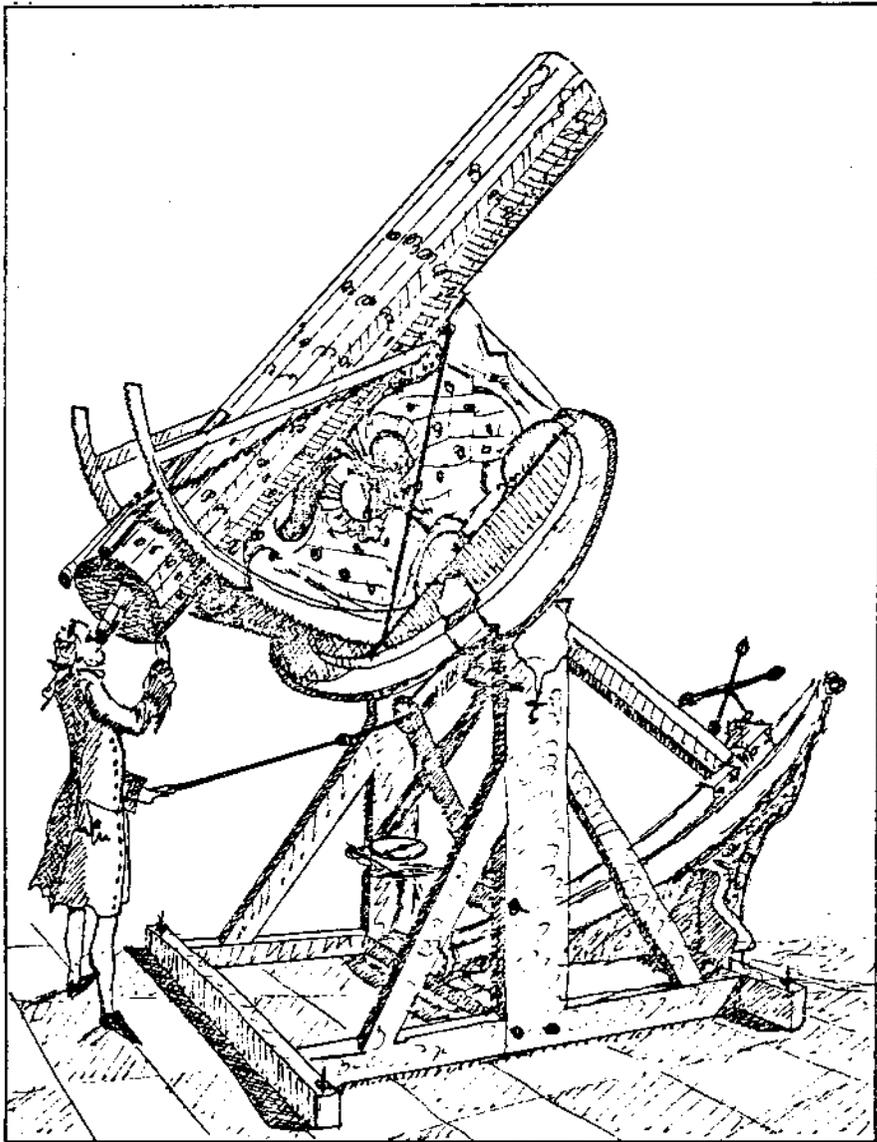


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°3 hiver 1978-1979 .

LES CAHIERS CLAIRAUT

N°3 - Hiver 1978-1979

SOMMAIRE

	Page
Editorial	2
Astronomie et recherche spatiale	3
Hipparque, aujourd'hui	6
L'arc-en-ciel	11
Courrier des lecteurs	14
Pourquoi le ciel est-il bleu ?	22
Les éclipses	28
Ecole d'été internationale en astronomie-première annonce..	31
Ecole d'été d'astronomie de Grasse	32

EDITORIAL

Le nombre d'abonnés aux Cahiers Clairaut augmente de numéro en numéro : cela nous semble l'indication encourageante qu'une liaison entre enseignants et astronomes s'établit... même modestement, grâce à ce bulletin.

A la demande de lecteurs, nous revenons en particulier dans ce numéro, sur deux sujets précédemment abordés concernant "l'arc-en-ciel" et le "bleu du ciel"; il est d'ailleurs prévu que ce dernier sujet continuera à alimenter d'autres numéros...

Ce numéro comporte une rubrique "courrier des lecteurs" assez développée : nous nous en réjouissons! Nous souhaiterions vivement que vous nous fassiez part de vos suggestions et critiques et aussi que vous n'hésitez pas à nous communiquer vos expériences pédagogiques : vos réactions après ce type de textes montrent l'intérêt qu'il y a à les faire connaître.

Enfin, à signaler une petite nouveauté : le nombre de numéros annuels est porté à 4 ... comme les saisons...

La rédaction

Comité de rédaction :

L.Bottinelli, J.Dupré, M.Gerbaldi, L.Gouguenheim, G.Walusinski

Directeur de la publication : L.Gouguenheim, Université de Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex

Edité à l'Université de Paris-Sud, Laboratoire d'Astronomie, Bât. 426, 91405 Orsay Cedex

Prix du numéro : 5F; Prix de l'abonnement (4 numéros) annuel : 15 F

Dépot légal : en cours ;

ASTRONOMIE ET RECHERCHE SPATIALE

I - INTERET D'OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES A BORD DE VEHICULES SPATIAUX

Lorsque nous observons l'univers depuis la Terre, c'est au travers de l'atmosphère que nous le voyons ; or l'atmosphère constitue une "fenêtre" qui n'est transparente qu'à certaines longueurs d'onde, qu'à certaines gammes de radiation spécifiques dans le domaine centimétrique et dans le domaine visible. C'est d'ailleurs par un phénomène d'adaptation de l'espèce humaine à son environnement que notre oeil ne perçoit que la lumière "visible" du soleil, lumière dont le spectre s'étend entre le violet et le rouge.

Les astronomes ont, dès l'aube de l'ère spatiale, cherché à élever leurs instruments de plus en plus haut dans l'atmosphère, que ce soit à bord d'avions, de ballons, de fusées sondes ou de satellites automatiques. Depuis quelques années, ils peuvent utiliser des satellites habités ou des sondes spatiales qui ne tournent pas autour de la terre, mais vont explorer notre lune ou les autres planètes du système solaire.

L'intérêt de la recherche spatiale, est pour l'astronomie, quadruple :

- 1 - capter le rayonnement émis par les sources stellaires dans toutes les longueurs d'onde.
- 2 - se libérer de la luminosité parasite du fond du ciel, due à la lueur des villes et à la luminescence du ciel nocturne (haute atmosphère éclairée, même la nuit, par le soleil à la suite de diffusions multiples).
- 3 - parvenir au pouvoir séparateur théorique des instruments d'optique qui, sur terre, n'est jamais atteint en raison de l'agitation atmosphérique qui brouille les images.
- 4 - se rapprocher (dans le domaine de l'astronomie du système solaire) de la lune, des planètes, du milieu interplanétaire, des comètes et du soleil.

Plutôt que de rappeler les résultats obtenus depuis 20 ans grâce à l'astronomie spatiale ou au contraire, de rêver à l'astronomie du XXI^e siècle, les deux paragraphes qui suivent se limitent à la description de quelques expériences spectaculaires qui sont en cours de réalisation et

qui devraient permettre à l'astronomie de faire un bond en avant entre 1980 et 1990

II - OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES A L'AIDE DE LA NAVETTE SPATIALE

La navette spatiale ("Space Shuttle") est ce véhicule NASA qui effectuera prochainement des allers et retours de routine entre la terre et l'espace. L'ensemble constitué par l'orbiteur, les deux fusées auxiliaires et le grand réservoir décolle à la verticale ; le réservoir est perdu lors de la traversée des couches denses de l'atmosphère, cependant que les fusées auxiliaires sont récupérées après leur descente en parachute ; l'orbiteur accomplit ensuite des rotations autour de la terre et son travail scientifique ou technique est effectué ; plus tard enfin, le véhicule redescend dans l'atmosphère et se pose sur une piste comme un avion. Deux projets intéressent spécialement les astronomes :

1 - Les expériences du premier laboratoire spatial ("Spacelab")

Le laboratoire, construit par l'agence spatiale européenne, se place à l'intérieur de la navette ; des scientifiques pourront pendant une à deux semaines, travailler à 250 km d'altitude. La première mission est prévue pour 1981 et elle sera sans doute suivie par de nombreuses autres. Pour ce premier vol, sur 80 expériences embarquées, 8 seront des expériences d'astronomie.

Les résultats attendus concernent le spectre solaire et la mesure de la constante solaire, les rayons cosmiques, les résidus de supernovae, les systèmes binaires, les bras spiraux, les quasars, les amas globulaires, etc...

2 - Le Grand Télescope Spatial ("Large Space Telescope")

Il s'agit d'un télescope automatique dont le miroir principal aura 2,40 m de diamètre ; il sera placé par la navette sur une orbite à 520 km d'altitude. Cet instrument très volumineux pose d'importants problèmes technologiques : pointage, stabilité thermique, poli de surface... mais offrira d'immenses possibilités : on pourra voir des étoiles jusqu'à la 29e magnitude et plonger bien plus profondément dans l'univers. Ainsi, peut-être, des planètes d'étoiles seront découvertes et des résultats cosmologiques importants seront établis.

III -- OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES A BORD DE SONDES SPATIALES

Au cours de ces deux dernières années, nous avons vu partir les "Voyagers" vers Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, ainsi que plusieurs sondes tant américaines que soviétiques, vers Vénus. Et en 1983, un ballon franco-soviétique évoluera dans l'atmosphère de Vénus. Mais deux projets encore plus originaux devraient aboutir dans la prochaine décade :

1 - Les sondes hors-écliptique

La plupart des planètes du système solaire gravitent dans des plans très voisins, aussi les sondes ne se sont guère, jusqu'à présent, écartées du plan de l'orbite terrestre ou plan de l'écliptique. A partir de 1985, des engins spatiaux américano-européens exploreront la troisième dimension du système solaire pour, en particulier, mieux étudier le soleil le vent solaire, et le milieu interplanétaire.

2 - Les missions cométaires

Les planètes sont les seuls corps du système solaire vers lesquels des sondes ne se sont pas encore dirigées. Un "rendez-vous" avec la comète de Halley ou avec la comète Temple 2 est techniquement possible avant 1990. Les expériences envisagées donneront des indications sur l'origine du système solaire, sur la poussière interstellaire, sur les relations entre comètes, météorites et milieu interplanétaire. Plus encore, elles découvriront un milieu physico-chimique unique dans le système solaire et irréalisable en laboratoire.

A.Ch. Levasseur-Regourd (octobre 1978)

Si vous n'êtes pas déjà abonné (et seulement dans ce cas!), vous pouvez le faire en découpant la fiche ci-dessous et en la renvoyant une fois remplie. Une contribution financière de 15 Frs par an (4 numéros) nous permettrait d'équilibrer notre budget (chèque à établir à l'ordre de L.Gouguenheim, CCP 209 3680 V Paris)

DEMANDE D'ABONNEMENT (4 NUMEROS par an)

Mr, Mme, Melle :

Adresse personnelle:

.....

Adresse de l'Etablissement :

.....

souhaite s'abonner et recevoir les "Cahiers Clairaut" à partir du n°: (remplir et renvoyer cette fiche à Mme F.Delmas, Institut d'Astrophysique de Paris, 98 bis Boulevard Arago, 75014 PARIS).

HIPPARQUE, AUJOURD'HUI

"Je déclare sans peine qu'il doit y avoir des fautes dans mon ouvrage ; je ne connais aucun livre d'Astronomie où il n'y en ait plusieurs La mémoire nous trompe, le calcul nous égare, la chaleur de la composition nous entraîne ; enfin on ignore souvent des choses qu'il aurait fallu savoir."

Lalande (Préface au Traité d'Astronomie, Paris 1771)

Si l'on admet qu'une référence au moins occasionnelle à l'histoire des sciences est instructive, encore faut-il écarter la tentation de n'en citer que les épisodes glorieux : les grands savants, les découvertes essentielles, les inventions fameuses. Il y a aussi le travail des obscurs, les observations de routine (mais qui accumulent des données utiles) et aussi les conceptions fausses qui parfois ont égaré des chercheurs et, plus souvent, ont illustré l'approche difficile des idées les plus simples. Apprendre comment d'autres, et des plus illustres, se sont trompés fait partie de la formation scientifique d'aujourd'hui. Entendons-nous d'ailleurs sur le sens de "se sont trompés". Il est puéril de lire les textes anciens avec des lunettes de 1979, de juger des conceptions anciennes en arguant de ce que les découvertes ultérieures ont permis d'éclairer ou de corriger. Il est plus intéressant, spécialement dans une initiation à l'astronomie, d'apprécier comment dans le passé, avec des moyens d'observation et de calcul relativement rudimentaires, certains phénomènes ont pu être découverts ou expliqués. Je voudrais illustrer ces remarques par deux exemples tirés de l'oeuvre de Hipparque.

La précession des équinoxes

Rappelons d'abord que l'obliquité de l'écliptique sur l'équateur céleste avait été mesurée par Eratosthène (vers -250), soit $11/83$ de circonférence (environ $23^{\circ}51'$). Hipparque, qui vécut un siècle plus tard, le plus souvent à Rhodes, connaissait ce résultat.

Dans son ouvrage sur les solstices et les équinoxes, il distingue deux définitions de l'année. L'une concerne le retour apparent du Soleil parmi les mêmes étoiles, c'est l'année

sidérale, la durée d'une révolution de la Terre autour du Soleil rapportée à un repère fixe, soit 365,2564 jours comme on le sait aujourd'hui. L'autre concerne le retour du Soleil à un même solstice ou à un même équinoxe. C'est évidemment cette deuxième année qui, en définissant les saisons, a le plus d'importance pour l'humanité, en particulier pour son calendrier.

Hipparque commença par comparer ses propres observations du solstice d'été en -135 avec celles faites par Aristarque de Samos en -280. En 145 ans, la différence avec $365,25 \times 145 = 52\,961,25$ était d'une demi journée ($1/300$ de jour par an, soit pour la valeur moyenne d'un solstice d'été au suivant 365,2466). Le moment exact du passage du Soleil au solstice pouvait difficilement être apprécié à moins d'un demi jour près, ce qui rendait suspecte cette différence. Hipparque comprit que mieux valait mesurer le moment du passage du Soleil au point vernal. D'après Ptolémée, Hipparque mesura trois équinoxes de printemps et six équinoxes d'automne entre -162 et -128 avec une erreur évaluée par Ptolémée à un quart de jour. Ce qui le conduisait à la valeur de l'année des saisons : 365j 5h 52 mn 48s encore un peu trop grande.

Hipparque dut alors se poser la question : comment expliquer la différence de cette année des saisons avec l'année des Babyloniens qui excédait 365,25 jours ?

Les tables des anciens Chaldéens font mention de plusieurs changements d'origine dans la mesure des longitudes du Soleil, de la Lune et des planètes ; peut-être soupçonnaient-ils le déplacement du point vernal. En tout cas, Hipparque acquit la certitude de ce déplacement en comparant les observations d'éclipses de Lune par Timocharsis (169 ans plus tôt) et par lui-même, grâce au raisonnement suivant. Au milieu d'une éclipse de Lune, celle-ci est exactement opposée au Soleil donc les longitudes des deux astres diffèrent de 180° ; la longitude du Soleil peut être déduite de la mesure de sa déclinaison (ce qui est facile au midi précédent et au midi suivant l'éclipse) puisque l'obliquité de l'écliptique est connue. Les conclusions de Hipparque étaient les suivantes : pour Timocharsis, l'Epi de la Vierge précédait l'équinoxe

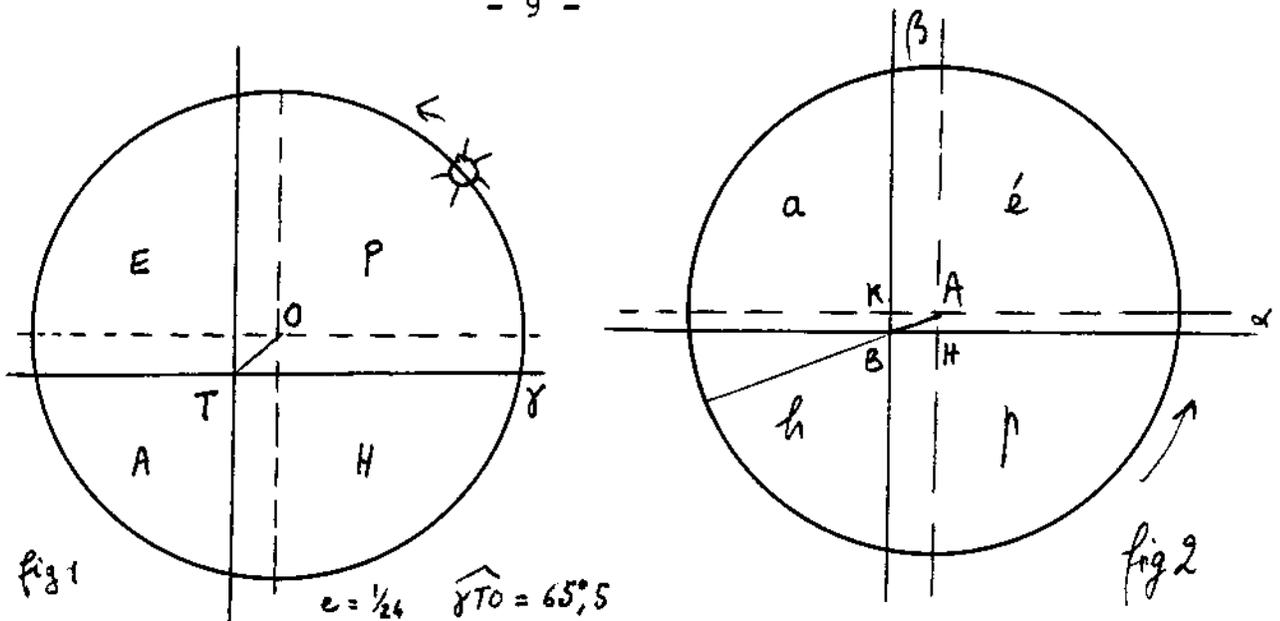
d'automne de 8° alors que pour Hipparque c'était seulement de 6° ; ce décalage de 2° correspond à une rétrogradation du point vernal de $45''$ par an. Dans d'autres textes, Ptolémée attribue à Hipparque une évaluation de la précession à $36''$ (valeur adoptée actuellement $50'',2$).

Remarques : 1°) Newton explique la précession par l'attraction du Soleil et de la Lune sur le bourrelet équatorial de la Terre et trouve $9'',12$ de la part du Soleil, $40'',88$ de la part de la Lune, au total $50''$.

2°) Paul Couderc a bien montré (voir dans ce numéro des Cahiers Clairaut la réponse à la 3^{ème} question dans le courrier des lecteurs) qu'il faut distinguer l'année des saisons, très irrégulière et l'année tropique, valeur moyenne de la première. Aussi faudrait-il, à mon avis, corriger la définition de l'année tropique donnée p.45 des Ephémérides 1979 du Bureau des Longitudes ; au lieu de "durée séparant deux passages consécutifs du Soleil dans la direction du point vernal", il suffirait d'écrire "durée moyenne...".

L'inégalité des saisons Callipe (de Cyzicus, entre -370 et - 300) qui fut élève de Polemarchis lui-même élève d'Eudoxe, évaluait ainsi la durée des saisons : printemps 94j, été 92, automne 89, hiver 90 ; inégalités soupçonnées cent ans avant lui. Hipparque confirma ces évaluations (printemps 94,5 été 92,5) et surtout il en donna une ingénieuse explication.

Selon les conceptions de l'époque (encore admises par Copernic), par besoin d'harmonie, les orbites du Soleil et des planètes autour de la Terre devaient être circulaires et les mouvements uniformes. Hipparque eut alors l'idée de placer la Terre hors du centre de l'orbite du Soleil, autrement dit, d'excentrer cette orbite ; cela permet en effet d'expliquer que la vitesse apparente du Soleil sur l'écliptique croisse puis décroisse régulièrement depuis la valeur la plus faible à l'apogée à la valeur la plus grande au périhélie. Restait à fixer la distance de la Terre au centre de l'orbite (l'excentricité) et dans quelle direction. A partir des valeurs des saisons indiquées plus haut, Hipparque pouvait tracer le schéma de la figure 1.(page suivante)



Remarques. 1°) Le mot excentricité a été naturellement repris par Copernic dont le système d'orbites circulaires exigeait encore de tels décentremements, le Soleil prenant la place de la Terre. Kepler le reprit à son tour pour les orbites elliptiques auxquelles nous sommes habitués.

2) Je me suis amusé à reprendre les calculs de Hipparque à partir des données actuelles (fig 2) : excentricité $e=0,017$ angle de la ligne des apsides avec celle des solstices $a = 11^{\circ},82$ (périhélie 2 janvier, aphélie 5 juillet) ;

$$AH = 0,017 \sin a = \sin \alpha \quad \alpha = 0^{\circ},1987$$

$$AK = 0,017 \cos a = \sin \beta \quad \beta = 0^{\circ},9536$$

Durée des saisons :

$$\text{hiver} \quad 90 - 0,1987 - 0,9536 = 88^{\circ},847$$

$$\text{printemps} \quad 90 - 0,1987 + 0,9536 = 90,7549$$

$$\text{été} \quad 90 + 0,1987 + 0,9536 = 91,1523$$

$$\text{automne} \quad 90 + 0,1987 - 0,9536 = 89,245$$

soit en transformant ces angles en jours les quatre valeurs respectives h: 90,142 j ; p: 92,078 ; é: 92,481 ; a: 90,546 dont le total est 365 247.

Ces valeurs sont assez différentes de celles qui peuvent être tirées de n'importe quel calendrier soit 89,0 ; 92,8 ; 93,6 et 89,8. Autrement dit la progression uniforme de la Terre sur son orbite n'est pas une bonne solution ; c'est bien ce qu'énonce la deuxième loi de Kepler.

3) Entre les figures 1 et 2, il y a une différence notable ; n'oublions pas que la ligne des apsides tourne dans le sens direct de $12''$ par an ; en y ajoutant la précession, la lon-

gitude du périhélie augmente donc de 62" par an, soit en 2100 années plus de 36°.

K.MIZAR

N.B. La plus grande partie des données historiques utilisées dans cette note sont prises dans A.PANNEKOEK, A history of Astronomy traduction anglaise du livre publié en 1951 en néerlandais.

Rectification ... sur dix heures perdues

===== Dans le N°1 des Cahiers Clairaut(p.22), j'affirmais qu'en Terminale C les prof de math et de physique disposaient toujours de 10 h annuelles pour une initiation à l'astronomie organisée en commun. Je faisais erreur. Des collègues m'ont averti des difficultés à obtenir ces 10 h. J'ai écrit au Doyen de l'Inspection Générale de Mathématique, M.Ramis. De sa réponse du 9 novembre 78, voici de larges extraits :

"Les dix heures annuelles(facultatives) d'astronomie en T.C dont vous parlez ont été introduites pour une durée d'un an(pour 62-63) par un arrêté du 28/03/62.D.L.3 a trouvé trace d'interventions de mes prédécesseurs (MM Desforge et Thiberge) qui demandaient leur reconduction. Celle-ci a eu lieu d'année en année, par des circulaires dont la dernière (n°4-67-309) date du 13 juillet 1967.

Le programme actuel de T.C. élaboré par une commission ministérielle et fixé par un arrêté du 14 mai 1971, ne fait aucune allusion à l'enseignement de l'astronomie (cf brochure SEVPEN de 1974 qui remplace la brochure 59Pg). Peut-être quelques uns de vos collègues ont-ils encore utilisé quelque temps les dix heures annuelles, mais pour le Bureau DL 3, elles n'étaient plus reconduites : un seul Rectorat, celui d'Aix-Marseille s'est d'ailleurs inquiété de la question ; il a reçu une réponse négative (en 1975).

Certains établissements ont profité des 10% pour organiser un enseignement de l'astronomie sous la forme de collaboration entre mathématiciens et physiciens dont vous parlez dans votre lettre... Faut-il institutionnaliser une telle entreprise et en revenir, sous une forme interdisciplinaire, à un enseignement de l'astronomie dans toutes les classes terminales ? La question mériterait certainement d'être étudiée au niveau des associations de professeurs et des IREM dans le contexte de l'introduction de nouveaux programmes du second cycle en 1981."

Dans l'organisation du second cycle secondaire (et pas seulement celle des classes terminales), y aura-t-il place pour un enseignement pluridisciplinaire de l'astronomie ? A mon avis, cela dépend beaucoup de nous.

G.W.

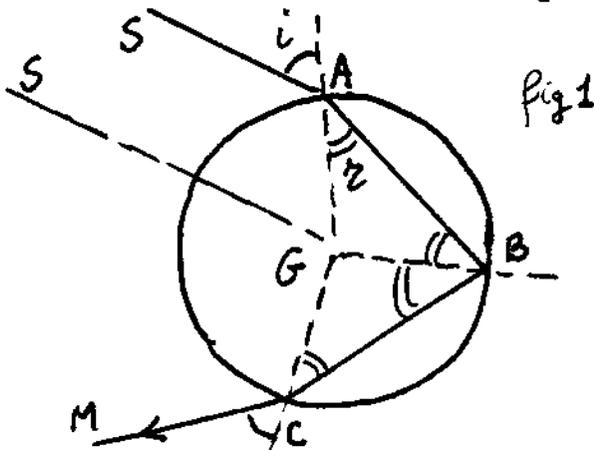
L'arc-en-ciel

"L'arc-en-ciel est une merveille de la Nature si remarquable, et sa cause a été de tout temps si curieusement recherchée par les bons esprits, et si peu connue, que je ne saurais choisir de matière plus propre à faire voir comment, par la méthode dont je me sers, on peut venir à des connaissances que ceux dont nous avons les écrits n'ont point eues."

Descartes [Les Météores, discours huitième]

L'interprétation du phénomène de l'arc-en-ciel a été donnée par Agnès Acker dans le n°1 des Cahiers Clairaut. La présente note a pour but de revenir sur les calculs élémentaires qui permettent d'expliquer le phénomène.

1. Etude de la marche de la lumière dans une goutte d'eau sous un faisceau de lumière parallèle. La goutte d'eau est supposée sphérique (fig 1) ; un rayon lumineux, après une réfraction en A, une réflexion en B et une réfraction en C, sort de la goutte en ayant subi une déviation D



un rayon lumineux, après une réfraction en A, une réflexion en B et une réfraction en C, sort de la goutte en ayant subi une déviation D somme des trois déviations comptées sur la figure dans le sens direct :

$$D = (i - r) + (180^\circ - 2r) + (i - r) = 2i + 180 - 4r$$

où r est liée à i par $\sin i = n \sin r$

La direction du Soleil étant supposée fixe, D est fonction de i, cet angle variant selon la position du point d'entrée A sur la goutte. Voici une table de valeurs de cette fonction $i \rightarrow D$ pour $n = 1,333$:

i	0	20	40	50	55	56	57	58	59	60	61	62
r	0	14,9	28,8	35,1	37,9	38,4	38,9	39,5	40,0	40,5	41,0	41,5
D	180	160,4	144,8	139,6	138,3	138,2	138,0	137,9	137,9	137,9	137,9	138,1

Le minimum apparaît, 138° environ au voisinage duquel il y a accumulation de valeurs de i. Autrement dit il y a accumula-

tion de rayons de lumière subissant la déviation de 138° .

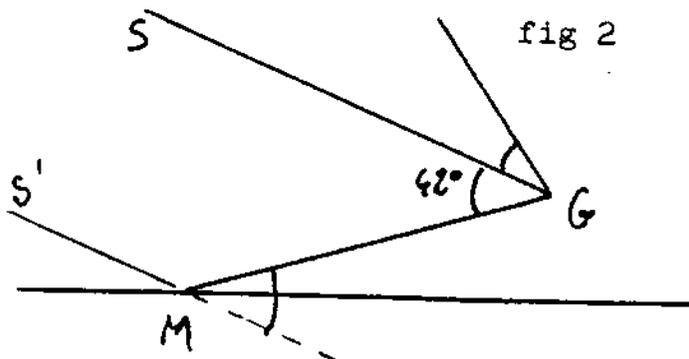
2. De façon plus théorique (?), on retrouve cet angle en dérivant la fonction $i \rightarrow D$ par rapport à i

$\frac{dD}{di} = 2 - 4 \frac{dr}{di}$; le minimum a lieu pour $\frac{dr}{di} = 1/2$; en dérivant $\sin i = n \sin r$, $\cos i = n \cos r \frac{dr}{di}$ il n'y a plus qu'à résoudre $2 \cos i = n \cos r$ soit

$$\sin^2 i = \frac{4 - n^2}{3}$$

Avec $n_1 = 1,332$ indice de l'eau pour le rouge, la formule donne $i_1 = 59,47$ soit $D_1 = 137,78$; avec $n_2 = 1,434$ indice de l'eau pour le bleu, on a $i_2 = 53,60$ et $D_2 = 150,6$

3. Observation. Prenons $D = 138^\circ$. Pour chaque goutte d'eau G, les rayons lumineux ayant subi le chemin ABC se trouvent dans un cône de révolution d'axe SG et de demi angle au sommet égal à $180 - 138 = 42^\circ$ avec accumulation de rayons de lumière sur le bord, la surface du cône. Pour l'observateur placé en M (fig 2)



il observera ces rayons rouges sur toutes les gouttes G situées sur un cône de révolution d'axe MS' de demi angle d'ouverture 42° ; il verra un arc-en-ciel rouge.

Pour le bleu, longueur d'onde plus petite, i est plus petit, D est plus grand, son supplément est plus petit

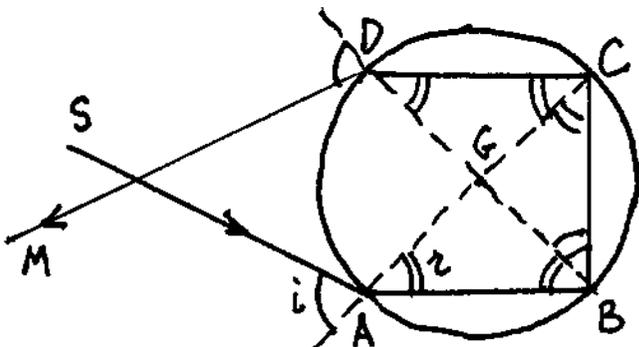
Les gouttes actives en bleu sont à l'intérieur du cône rouge, l'arc bleu est à l'intérieur de l'arc rouge.

Remarques : Evidemment, on ne voit que la partie de l'arc qui est au-dessus de l'horizon. Pour l'observateur M au sol en plaine, il verra au maximum un demi cercle, au soleil couchant (ou levant). En tournant le dos au Soleil et face à une averse. Quand la hauteur du Soleil est supérieure à 42° , aucun arc-en-ciel n'est observable.

Chaque observateur voit son propre arc-en-ciel qui l'accompagne dans son déplacement.

La théorie suppose que les gouttes sont sphériques. Le bon accord expérimental tend donc à prouver qu'il en est bien ainsi. D'ailleurs, y a-t-il arc-en-ciel lorsque les gouttes sont très grosses ?

4. Un arc-en-ciel du deuxième ordre correspond aux rayons qui suivent le chemin ABCD dans la goutte G soit deux réflexions



(fig 3). La déviation est alors

$$D = 2i + 360 - 6r$$

Des calculs semblables aux précédents donnent le minimum pour

$$\sin^2 i = \frac{9-n^2}{8}$$

soit pour le rouge $i_1 = 71,87$

$D_1 = 230,6$ et pour le bleu $i_2 = 68,69$

$D_2 = 245,57$

Dans ce cas, pour l'observateur M, le cône d'axe SM portant accumulation de lumière a pour demi angle d'ouverture $231-180 = 51^\circ$ pour le rouge, l'accumulation de lumière se faisant alors à l'extérieur du cône (et pour le bleu, $245-180 = 65^\circ$).

L'arc-en-ciel du deuxième ordre est donc extérieur au premier, l'ordre des couleurs étant inversé, le bleu à l'extérieur. L'intensité de cet arc est évidemment plus faible que celle du premier (un arc du 3^{ème} ordre est théoriquement possible mais non observable). Remarque : du fait de l'inversion des ordres de dispersion, entre les deux arcs rouges il n'y a rien, contraste qui peut faciliter l'observation.

Daniel Bernard
(Lycée Janson de Sailly)

Eléments de bibliographie

André DANJON, "Quelques phénomènes d'optique atmosphérique"
(L'Astronomie, septembre 1954)

Agnès ACKER, Initiation à l'astronomie (éd Masson 1978, p4)
"Le Phénomène de l'arc-en-ciel"
(Cahiers Clairaut n°1)

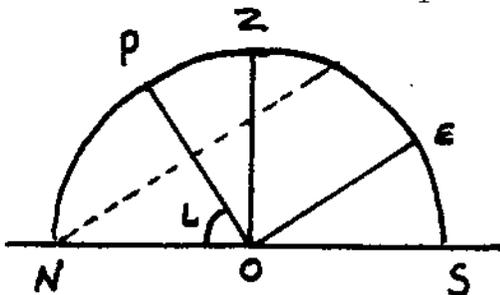
F.PRETRE, "l'arc en ciel", Bulletin de l'Union des Physiciens,
n° 560, p 359 (décembre 1973)

COURRIER DES LECTEURS

Rubrique faisant écho à toute question posée par un lecteur ; ou bien nous tâchons d'y répondre ou bien nous sollicitons d'autres lecteurs. Ecrire au responsable de la rubrique: Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 Saint-Cloud.

Question 1. Comment savoir quelles sont les étoiles observables d'un lieu donné à une heure donnée ?

Il existe des cartes mobiles du ciel (exemples Planiciel, Sirius, ...) qui permettent de le savoir immédiatement. C'est moins instructif que de réfléchir et calculer un peu.



Pour un observateur O en un lieu de latitude L, le plan méridien se présente comme sur la figure ci-contre. P est le pôle céleste, Z le zénith, E l'intersection de l'équateur céleste et du plan méridien.

Tout astre de déclinaison supérieure à $90^\circ - L$ appartient au "cercle de perpétuelle apparition" comme on disait jadis. Il culmine entre P et N ; il a un passage inférieur dans le plan méridien entre P et N. Exemple, pour Paris ($L=48^\circ$), Grande Ourse (Mizar) culmine à $42+55=97^\circ$ comptés à partir de E (soit une distance zénithale de 7° vers le Nord) ; passage inférieur à 7° au dessus de N.

Tout astre de déclinaison comprise entre $90-L$ et $-90+L$ a seulement un passage dans le méridien ; il a un lever et un coucher. L'arc semi diurne $J/2$ décrit par l'astre entre sa culmination et son coucher est donné par

$$\cos J/2 = - \operatorname{tg} L \operatorname{tg} \delta \quad (\delta \text{ déclinaison de l'astre})$$

L'azimut a du coucher est donné par $\cos a = - \frac{\sin \delta}{\cos L}$

On connaîtra ainsi l'heure du coucher de l'astre (donc aussi celle du lever) dès qu'on connaîtra l'heure de la culmination. Exemple : visibilité de Sirius à Paris. Coordonnées équatoriales de Sirius $\alpha = 6\text{h } 44\text{ mn } 13\text{ s}$ $\delta = -16^\circ 41' 11''$; les formules donnent $J/2 \approx 70^\circ$ et $a \approx 65^\circ$. La durée d'apparition de Sirius est la fraction $140/360$ du jour sidéral $23\text{h}56\text{mn}$ soit environ $9\text{h}18\text{mn}$: Sirius se couche 4 h 39 mn après sa culmination.

Le 2 janvier 1979 à OhTU, le temps sidéral était égal à 6h44mn: alors Sirius culminait. Le 31 janvier à OhTU, le temps sidéral était égal à 8h38mn ; Sirius avait donc culminé environ deux heures plus tôt.

Tout astre de déclinaison inférieure à $-90+L$ n'est jamais observable du lieu considéré.

[Remarque à tendance pédagogique (!) : quelques formules de trigonométrie sphérique n'ont jamais fait de mal à personne et donnent l'occasion d'utiliser les calculatrice de poche de façon intéressante.]

Question 2. Quelle est la définition de la période julienne indiquée par les Ephémérides ? Comment en a été choisie l'origine ?

La question avait été posée à Champtercier par Gérard Lalanne(Metz) qui a trouvé lui-même la réponse dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes de 1974 (p402) :

"Pour comparer des dates éloignées, il est souvent commode d'utiliser la période julienne de 7980 années juliennes, qu'au seizième siècle l'érudit français Joseph Scaliger a obtenue en effectuant le produit des trois nombres 28, 15 et 19, qui représentent les périodes respectives des trois éléments du comput : cycle solaire, indiction romaine et nombre d'or.

Les nombres 28, 15 et 19 étant premiers entre eux, il y a dans la période julienne une année et une seule admettant un système de trois nombres donnés comme cycle solaire, indiction romaine et nombre d'or. La première année de la période est l'an 4713 avant notre ère(-4712) qui a été choisie parce que son cycle solaire, son indiction romaine et son nombre d'or sont tous trois égaux à 1.

En résumé, les 7980 années sont numérotées en série unique depuis l'an 4713 (-4712) avant notre ère jusqu'à l'année à venir 3267. L'an un avant notre ère, année zéro des astronomes, y porte le numéro 4713, d'où pour l'année 1979 de notre ère le numéro $4713 + 1979 = 6692$.

Les jours de la période julienne commencent à midi(12h temps universel), de sorte que la période commence le lundi 1 janvier julien à 12 h TU de l'an -4712 et finit le lundi 1 janvier julien à 12h TU de l'an 3268 (23 janvier grégorien)!"

Ajoutons trois remarques :1) Les Ephémérides 79 indiquent le nombre de jours de la période écoulés au 1 er janvier

1979 à 12 h TU : 2 443 875 .

2) Pour simplifier on définit aussi le jour julien modifié (en anglais MJD) en retranchant 2 400 000,5 au nombre précédent. L'origine de cette échelle est le 17 novembre 1858 à 0h ; en effet l'avantage du MJD est de commencer à 0h TU (d'où le 0,5).

3) En divisant le rang de l'année 1979 dans la période julienne soit 6692 respectivement par 28, par 15 et par 19 on obtient les trois éléments du comput, cycle solaire (ou lettre dominicale) , indiction romaine et nombre d'or ; soit 0, 2 et 14.

Question 3. Pourquoi l'équinoxe de printemps n'a-t-il pas toujours lieu à la même date ?

Lorsque Sosigène définit le calendrier qui devait ultérieurement être appelé julien (pour rappeler que le général, ici Jules César, a plus de pouvoir que l'astronome), il prétendit fixer l'équinoxe de printemps au 25 mars. Cela se passait l'an 45 avant notre ère ; il est vraisemblable que Sosigène s'est trompé et que l'équinoxe de cette année là eut lieu le 23 ou le 24 ; la mesure exacte était difficile avec les instruments de l'époque.

En l'an 325 de notre ère, lorsque se réunit le Concile de Nicée (qui fixa la règle du calcul de la date de Pâques) l'équinoxe avait lieu le 21 mars. On attribua le décalage du 25 au 21 à une erreur de Sosigène. En réalité le décalage du 23 au 21 s'explique par la différence entre 365,25 jours (durée moyenne de l'année julienne) et 365,2422 durée de l'année tropique telle que nous la connaissons aujourd'hui.

La réforme grégorienne (1582) après un rattrapage de dix jours (le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 fut le vendredi 15 octobre, discontinuité des quantièmes et continuité des jours de la semaine) corrige le calendrier julien en supprimant un jour bissextile tous les 400 ans (en 1600 et en 2000 par exemple).

Dans l'intervalle de ces deux dates 1600 - 2000, il n'y a pas de différence de durée entre années juliennes et années grégoriennes, soit 365,25 j en moyenne : trois années de 365 j puis une année de 366 j. Le jour supplémentaire étant intercalé entre le 28 février et le 1^{er} mars.

De ce fait, si l'équinoxe de printemps a lieu l'année n le 20 mars à 13 h par exemple, elle aura lieu l'année n+1

le 20 mars à $13 + 6 = 19$ h environ et l'année $n+2$ le 20 mars à $19+6 = 25$ h soit donc le 21 mars à 01 h.

Cette appréciation grossière suffit en principe à expliquer que la date de l'équinoxe de printemps varie du 20 mars (les années bissextiles) au 21 mars (l'année qui précède l'année bissextile) ; pour les deux années intermédiaires, c'est généralement le 20 et le 21 mars mais il y a des exceptions. Pour le comprendre, cela vaut la peine de regarder la date de l'équinoxe de plus près.

Deuxième explication. Relevons les dates et heures des équinoxes de printemps de 1954 à 1979 (un quart de siècle, ce qui est beaucoup pour un élève du Cours Moyen, appréciable pour un vieux prof et très court vis à vis de l'âge de la Terre). Les dates sont prises dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes, c'est à dire à la seconde près. Le tableau 1 concerne les équinoxes de printemps, le tableau 2 les équinoxes d'automne.

Dans l'un comme dans l'autre, la période des quatre années apparaît immédiatement.

Dans la colonne de droite, on a calculé la durée entre deux équinoxes de même nom, durée variable que M. Paul Couderc proposait d'appeler l'année des saisons et comme les résultats sont différents pour le printemps et pour l'automne, on pourrait parler de l'année des printemps et de l'année des automnes. Ces valeurs sont données d'abord en jours, minutes et secondes, puis en parties décimales de jour :

1 h = 0,041 67 j ; 1 mn = 0,000 69 j ; 1 s = 0,000 02 j

Ces tableaux de valeurs posent deux questions :

1°) Pourquoi ces variations de durée de l'année des saisons ?

La réponse a été donnée par Paul Couderc dans un article déjà ancien (Bulletin APMEP n°176, mars 1956, p.319) dont je reprends l'essentiel. "C'est le point G, barycentre du système Terre-Lune qui décrit l'orbite képlérienne autour du Soleil". Si T est le centre de la Terre et R son rayon, $TG = 0,73 R$. Pour unifier les observations faites à partir de divers lieux, on les ramène à T. Mais puisque c'est G qui décrit l'orbite, en apparence le centre S du Soleil ne décrit pas exactement l'écliptique : la latitude céleste du Soleil n'est pas nulle, même si

Tableau 1 des équinoxes et des années des printemps

année	mois	quantième	heure			durées		
1954	mars	21	03 h	53 mn	40s	365j5h41mn40s = 365,23724		
55		21	09	35	20			
56		20	15	20	30	45	10	23970
57		20	21	16	44	56	14	24738
58		21	03	06	08	49	24	24264
59		21	08	54	58	48	50	24194
60		20	14	43	01	48	03	24170
61		20	20	32	27	49	26	24266
62		21	02	30	01	57	34	24831
63		21	08	20	05	50	04	24310
64		20	14	10	11	50	06	24312
65		20	20	05	06	54	55	24647
66		21	01	53	27	48	21	24191
67		21	07	37	20	43	53	23880
68		20	13	22	23	45	03	23961
69		20	19	08	29	46	06	24035
70		21	00	56	45	48	16	24185
71		21	06	38	33	41	48	23736
72		20	12	21	54	43	21	23844
73		20	18	13	00	51	06	24382
74		21	00	07	18	54	18	24604
75		21	05	57	19	50	01	24307
76		20	11	50	09	52	50	24502
77		20	17	42	56	52	53	24506
78		20	23	34	17	51	21	24399
79		21	05	22	36	48	19	24189

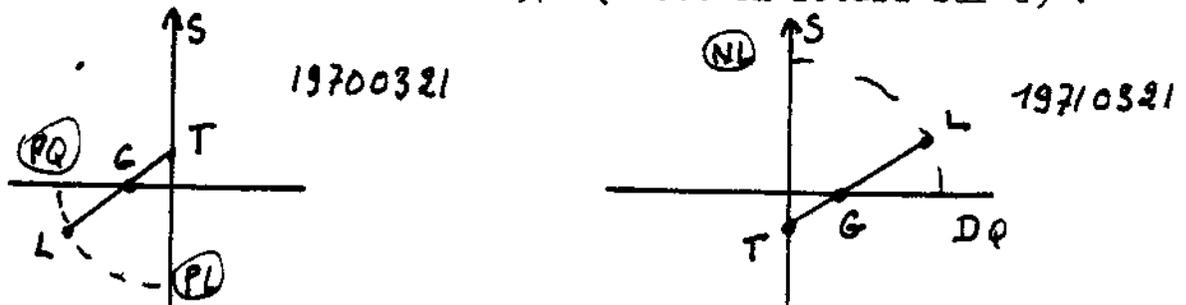
Tableau. 2 des équinoxes et des années des automnes

année	mois	quantième	heure			durées		
1954	sept	23	13h	55m	32s	365j5h 44m 27s = 365,23920		
			19	40	59			
			01	35	02	54	03	24587
			07	26	14	51	12	24388
			13	08	54	42	40	23796
			19	08	31	59	37	24973
			00	58	58	50	27	24337
			06	42	36	43	38	23863
			12	35	27	52	51	24503
			18	23	35	48	08	24176
			00	16	48	53	13	24529
			06	06	23	49	35	24277
			11	43	24	37	01	23404
			17	38	15	54	51	24642
		22	23	26	29	48	14	24183
		23	05	07	14	40	45	23663
			10	59	08	51	54	24437
			16	45	11	46	03	24031
		22	22	33	02	47	51	24156
		23	04	21	29	48	27	24198
			09	58	38	37	09	23413
			15	55	32	56	54	24785
		22	21	48	35	53	03	24517
		23	03	29	32	40	57	23677
			09	25	47	56	15	24739
			15	16	48	51	01	24376

elle est faible en valeur absolue et variable. C'est l'origine d'une "inégalité mensuelle du Soleil", mensuelle car sa période est liée à la révolution synodique de la Lune.

Bref, la position apparente du Soleil peut se trouver décalée de $6''5$; une différence de $13''$ peut s'introduire entre le passage du Soleil d'un équinoxe de printemps au suivant.

Le correspondant qui nous a orientés sur cette question (et qui désire rester anonyme) a d'ailleurs comparées les positions respectives de T, G et L le 21 mars 1970 (T est en avance sur G) et le 21 mars 1971 (T est en retard sur G) :



D'où une année des printemps particulièrement courte :
 $265 \text{ j } 5 \text{ h } 41 \text{ mn } 48 \text{ s} = 365,23736 \text{ j}$

Notons incidemment que les tables de la correction rendue nécessaire par cette inégalité fournissent une détermination de G et par conséquent le rapport des masses de la Terre et de la Lune (d'après Newcomb 81,1).

Il faudrait encore ajouter que le mouvement de G est perturbé par Jupiter dont la période synodique est 399 jours ; si Jupiter était proche de sa quadrature occidentale à l'équinoxe de printemps, il sera proche de sa quadrature orientale au début de l'automne. Enfin la nutation (période 18,6 années) altère la date du passage du Soleil à l'équinoxe de dix minutes en plus ou en moins. Il y a aussi les perturbations dues aux autres planètes, les inégalités de la Lune, l'emploi du temps moyen au lieu du temps vrai pour fixer l'heure du passage au point γ .

2°) Comment, dans ces conditions, retrouver la durée de l'année tropique, valeur moyenne de l'année des saisons ?

La première idée est de prendre la durée entre l'équinoxe 1954 et l'équinoxe 1979 soit $365 \text{ j } 25 \text{ h } 6 \text{ mn}$ bissextiles + $1 \text{ h } 28 \text{ mn } 56 \text{ s}$ soit $9125,43741$ jours et diviser par 25 ; on trouve $365,2426$ jours.

La seconde idée est de faire la moyenne arithmétique des 25 valeurs indiquées dans le tableau 1 ; on trouve 365,2425 un peu plus proche de la valeur connue 365,2422.

La première méthode a l'avantage de la simplicité. Seulement, si les deux équinoxes choisis sont l'un très "en avance", l'autre très "en retard", et si le nombre d'années qui les sépare est relativement petit, le résultat peut être décevant. Il réserve aussi des surprises : à partir des équinoxes d'automne de 54 et de 79, je trouve 365,2422, un coup de chance !

Conclusion : il n'était pas utile d'invoquer les variations des années des saisons pour répondre à la question posée. Mais toute question invite à s'en poser d'autres et il n'est pas mauvais de prendre conscience des complications que recouvrent les moyennes grâce auxquelles on peut donner une première description des phénomènes.

Et, de toutes façons, le printemps est toujours le bienvenu.

BIBLIOGRAPHIE

Faute de place et de temps, celle-ci est renvoyée au numéro 4 des Cahiers. Citons cependant ici des titres d'ouvrages sur lesquels il faudra sûrement revenir :

Plurisciences 1979 , un volume édité par Encyclopaedia Universalis, 512 pages du format de l'encyclopédie. Importants articles sur la Cosmologie, sur les observatoires d'URSS, sur les progrès dans l'exploration du système solaire, sur Einstein.

Roemer et la vitesse de la lumière , un ensemble d'exposés d'une table ronde du CNRS de juin 1976 (éd Vrin)

Einstein et le conflit des générations par Lewis S. Feuer , 376 pages, éditions Complexe [sur l'histoire des travaux de Einstein et les circonstances sociales qui les ont entourées]

L'observation des étoiles doubles visuelles par Paul Couteau qui travaille à l'Observatoire de Nice, 252 pages, édition Flammarion [Une mise au point d'actualité sur une question dont on sait l'importance pour les mesures de distance et de masse des étoiles].

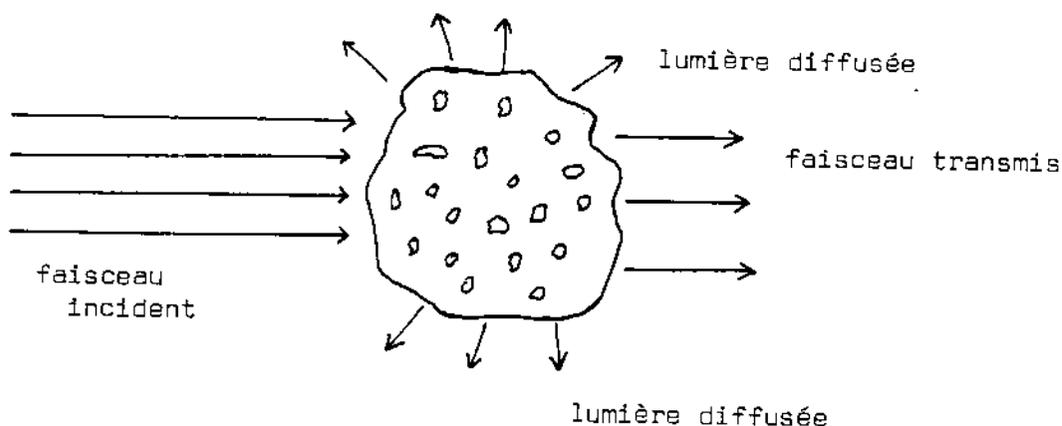
Kepler astronome astrologue par Gérard Simon, 488 pages, édition Gallimard [Sur un sujet bien connu, la réflexion d'un philosophe. Sujet bien connu mais toujours passionnant].

POURQUOI LE CIEL EST-IL BLEU ?

La couleur d'un ciel sans nuages, quoique généralement bleue, peut également passer par d'autres teintes tel le violet, l'orangé, le rouge au moment du coucher du Soleil ou bien lors de son lever.

Mais pourquoi le ciel prend-il donc ces teintes ?

La vraie nature de la couleur du ciel ne fut comprise que dans la seconde moitié du XIX^e siècle, avec les travaux des physiciens Brücke et Tyndall. C'est en 1869 que le physicien britannique John Tyndall démontra expérimentalement l'origine de la couleur bleue du ciel en analysant la diffusion de la lumière blanche par de petites particules.



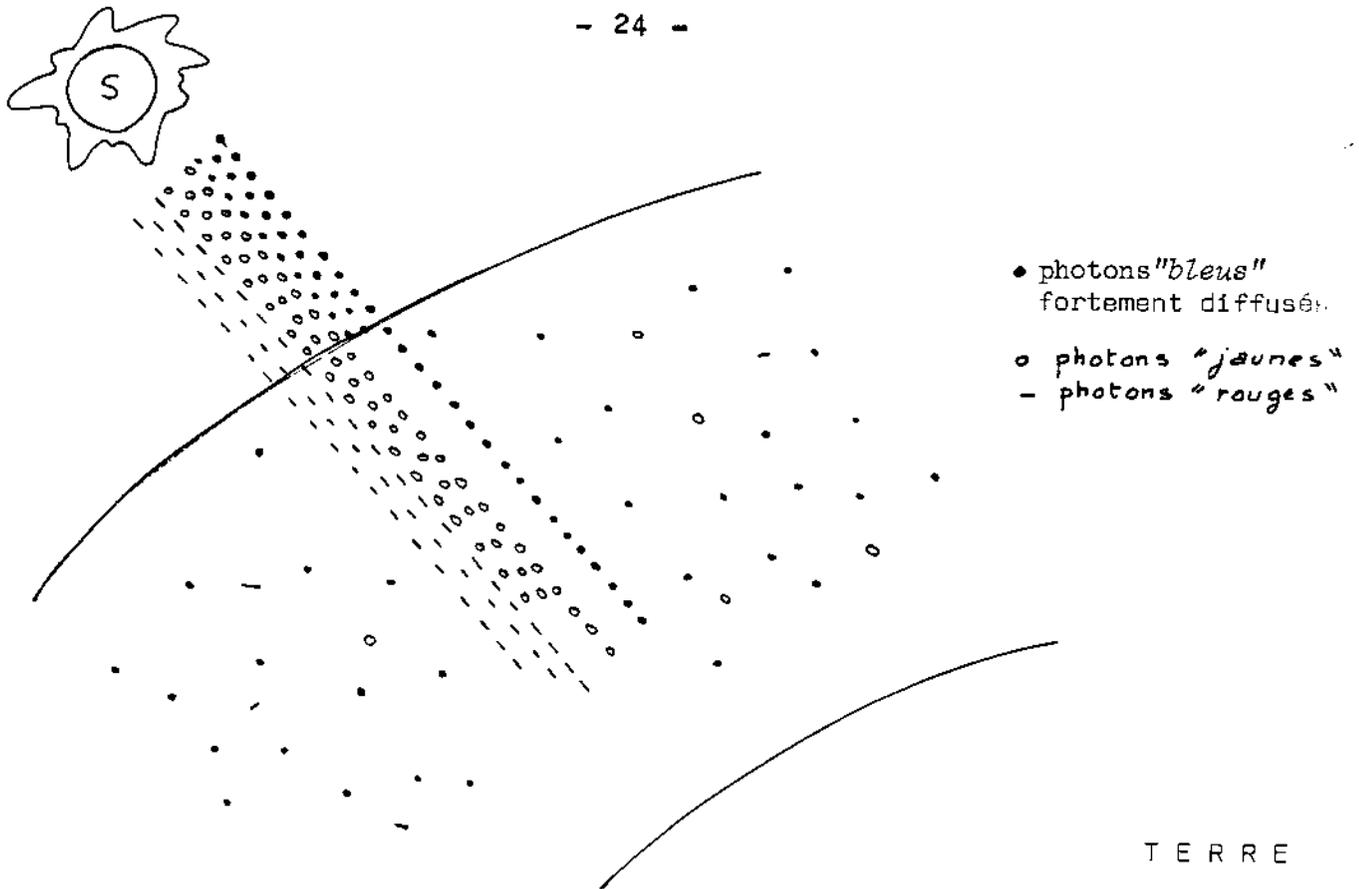
Un nuage contenant en suspension de fines particules est traversé par un faisceau de lumière blanche. Ces particules diffusent, dans toutes les directions, une partie de la lumière prélevée sur le faisceau incident. Celle-ci est en général blanchâtre sauf lorsque les particules sont très petites : elle devient bleue, et la lumière transmise rougeâtre. Tyndall appliqua ce résultat à la couleur du Ciel : le bleu du ciel provient de la lumière du Soleil diffusée par les particules de l'atmosphère terrestre.

Après la démonstration expérimentale de Tyndall, Lord Rayleigh, son contemporain entreprit une étude mathématique de la diffusion à partir de la théorie électromagnétique de Maxwell, récemment développée. Il montra que les particules dont la dimension était plus petite que le centième de la longueur d'onde

de la lumière incidente diffusait plus intensément les radiations de courte longueur d'onde que celles de grande longueur d'onde. Dans le cas de l'atmosphère terrestre, ce sont les molécules d'oxygène et d'azote qui jouent le rôle fondamental. Ces molécules diffusent les photons de fréquences élevées beaucoup plus fortement que les autres. Ce phénomène est connu sous le nom de "*diffusion Rayleigh*". L'intensité de la lumière diffusée est proportionnelle à la quatrième puissance de la fréquence. Ainsi les photons "*bleus*" sont-ils diffusés de façon quatre fois plus efficace^(environ) que les photons "*rouges*". Pour le domaine de sensibilité de notre oeil, ceci se traduit par le fait que la lumière du Soleil diffusée par l'atmosphère nous apparaît comme étant bleue car parmi le domaine de fréquence auquel notre oeil est sensible, ce sont les photons "*bleus*" ($\lambda \sim 4500 \text{ \AA}$) les plus abondants.

Une analyse microscopique de ce phénomène, nous apprend que la diffusion n'est qu'une des manifestations de l'interaction entre le rayonnement et la matière. La mécanique quantique nous permet de décrire ce phénomène de la façon suivante : quand un atome est exposé à un faisceau de photons dont l'énergie est égale à la différence entre l'énergie de l'état dans lequel se trouve l'atome et un état supérieur, le photon est absorbé par l'atome. Puis l'atome se désexcite après un intervalle de temps très court en émettant un photon, dans une direction quelconque par rapport à celle du photon incident, et dont l'énergie peut être légèrement différente de celle du photon incident.

Ainsi lorsqu'on regarde le Soleil au travers de l'atmosphère terrestre, il nous paraît plus jaune que vu à partir d'un véhicule spatial, car une partie des photons bleus, ne nous parvient pas; les photons sont diffusés par l'atmosphère terrestre dans toutes les directions et contribuent à rendre le fond de ciel bleu. Lorsque le Soleil est bas sur l'horizon, son rayonnement traverse une épaisseur d'atmosphère plus grande et par conséquent un plus grand nombre de molécules participent à la diffusion. Alors, le Soleil nous paraît orangé et même rouge, car son spectre est privé d'un plus grand nombre de photons bleus.



La diffusion par les poussières contenues dans l'atmosphère terrestre n'est notable que lorsque le Soleil est bas sur l'horizon.

Ce phénomène s'applique à toute diffusion par l'atmosphère terrestre en particulier à la lumière de la Lune, à celle des étoiles... Mais leur intensité est si faible que la lumière diffusée dans ce cas est très peu intense. Malgré tout, regardons le ciel lorsque la nuit est transparente, l'expression "*bleu nuit*" prend alors tout son sens...

Hors de l'atmosphère terrestre, le fond de ciel est toujours noir, car il n'y a plus de diffusion. C'est ainsi que les astronautes le voient.

Les résultats de Rayleigh concernent également la diffusion des photons par des particules de tailles différentes. On peut les résumer ainsi : un faisceau de lumière blanche apparaîtra jaune, vu au travers de particules de petites dimensions; si les particules augmentent de taille, la lumière transmise devient bleue puis finalement verte car les grosses particules diffusent les photons rouges.

Le physicien allemand Gustave Mie étendit cette étude en décrivant la figure de diffusion propre à des particules de taille différente.

On peut maintenant également comprendre, à partir de cette théorie de la dif-

fusion, les phénomènes colorés, très rares, mais spectaculaires, tels que la Lune bleue ou verte : ceci est dû à de grosses particules, en suspension dans l'atmosphère terrestre. En 1950, après un formidable incendie dans les forêts canadiennes, un nuage, très dense flotta au-dessus de l'Atlantique rendant le Soleil, la Lune et les étoiles bleus.

Mais revenons à la couleur bleue du Ciel. Celle-ci n'est pas uniforme ainsi que nous avons pu le constater nous-mêmes. Ainsi, au dessus des villes, le ciel est fréquemment blanchâtre. Dans ce cas l'atmosphère est polluée par des fumées industrielles, donc des poussières dont la taille est très variable. Or, ces particules, diffusent de façon différentes les photons et ce que nous voyons, c'est la combinaison de ces photons diffusés à différentes longueurs d'onde d'où cet aspect du ciel, blanchâtre, car il y a mélange des fréquences.

On peut également se demander pourquoi les nuages sont blancs ?

Les nuages sont formés de gouttelettes d'eau en suspension. Ces molécules diffusent la lumière de façon analogue à celle des molécules d'oxygène ou d'azote, alors, pourquoi les nuages sont-ils blancs et non pas bleus ?

Si nous cherchons à analyser cette différence entre le bleu du ciel et la couleur des nuages, nous sommes inévitablement amenés à nous demander pourquoi, dans le cas de la diffusion de la lumière du Soleil par les molécules d'air, des interférences destructives ne se produisent-elles pas ? Une telle conclusion serait évidemment contraire à l'expérience : pour aucune direction, le ciel nous apparaît noir durant le jour. Or, la densité volumique des molécules d'air, qui est au sol d'environ $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ semble a priori suffisamment grande pour qu'à toute molécule A on puisse associer une molécule B distante d'une demi-longueur d'onde de plus de l'observateur telle que l'intensité diffusée par ces deux molécules se combine en une interférence destructive. Ainsi pour des angles de diffusion voisins de 90° , le ciel devrait-il être noir. Or il n'en est rien. Ce résultat d'interférence destructive nous est par contre familier dans le cas où nous observons, par exemple, le trajet d'un faisceau lumineux dans de l'eau pure. Nous savons qu'ici l'interférence destructive se produit : nous voyons au travers de l'eau le faisceau lumineux se propager, avec un petit étalement dû à la diffraction, mais avec une diffusion à 90°

quasiment nulle. Ces deux résultats proviennent de ce que, pour des molécules d'eau, les amplitudes du champ de rayonnement diffusé à 90° s'ajoutent et donnent une interférence destructive alors que pour les molécules d'air, ce sont les intensités qui s'ajoutent. (On montre que l'intensité de la lumière diffusée à 90° est proportionnelle aux nombres de molécules diffusantes).

Cette différence de comportement s'explique par le fait que les molécules d'eau sont très régulièrement espacées les unes des autres : à une molécule A on peut toujours associer une molécule B. Dans le cas de l'air, cette propriété n'est vraie qu'en moyenne. On dit dans ce cas que la diffusion est incohérente.

La description du trajet d'un faisceau lumineux que nous venons de donner pour l'eau est en réalité valable pour tout milieu où les molécules sont ordonnées régulièrement c'est-à-dire les solides et les liquides. Pour un tel milieu, lorsque la distance moyenne entre deux particules est petite comparée à la longueur d'onde du faisceau lumineux incident, les interférences entre les différents faisceaux diffusés se font de la façon suivante : il existe une série d'interférences constructives dans la direction du faisceau incident alors que partout ailleurs l'interférence est destructrice. On dit dans ce cas que la diffusion est cohérente. Ces interférences constructives forment le faisceau réfracté. En fait la structure atomique ou moléculaire d'un milieu n'est jamais parfaitement régulière : par suite de la température du milieu les molécules vibrent, et il existe toujours des imperfections dans la structure cristalline. Ces irrégularités créent une lumière diffusée ailleurs que dans la direction du faisceau réfracté, mais son intensité est extrêmement faible. A la surface incidente du milieu il existe une zone d'épaisseur $\lambda/2$ où les interférences destructives ne se produisent pas complètement. Il se forme alors un rayonnement "*réfléchi*" dont la couleur est blanche s'il en était de même pour le faisceau incident. Ce résultat peut paraître étonnant dans la mesure où ce faisceau est formé par diffusion et où l'on s'attendrait à y trouver principalement des photons bleus. Il n'en est rien car le rayonnement ré-émis est cohérent et le nombre de particules ré-émettant à la même fréquence est fonction de celle-ci. Ainsi la lumière réfléchie est-elle indépendante de la longueur d'onde. Il en est de même pour la lumière réfractée.

Ainsi la diffusion dans un milieu où les molécules sont uniformément espacées (structure cristalline par exemple), donne naissance à un faisceau réfracté et un faisceau réfléchi, mais sans changement de fréquence : c'est la différence fondamentale avec la diffusion dans un milieu gazeux où existe une forte dé-

pendance en fréquence.

Prenons par exemple la surface d'une vitre : nous savons par expérience journalière comment se manifeste le faisceau réfracté - nous voyons au travers de la vitre - alors que le faisceau réfléchi, nous permet de voir une image comme dans un miroir. Si cette vitre est dépolie, nous savons que ces deux images se brouillent. Dans ce cas, si la vitre est exposée à la lumière solaire, elle nous apparaîtra uniformément blanche que ce soit le faisceau réfléchi ou réfracté, si le faisceau incident est coloré, la vitre prend sa couleur. Ce résultat expérimental est valable lorsque le milieu est formé de particules dont la dimension est supérieure à la longueur d'onde des photons incidents. Dans ce cas, la lumière qui pénètre dans ce milieu subit de nombreuses réflexions sur les faces de ces particules, selon leur orientation et se forme en de multiples faisceaux réfractés dans le milieu et réfléchis à sa surface. Comme aucun de ces processus n'est sélectif en longueur d'onde, il en résulte pour l'observateur un faisceau diffus de lumière blanche qu'il soit réfléchi ou bien réfracté.

C'est ce phénomène qui explique par exemple la couleur blanche de la neige, celle des nuages. En effet, un nuage est formé d'une accumulation de gouttelettes d'eau, dont la dimension est supérieure à la longueur d'onde des photons "*visibles*". Ces gouttelettes sont suffisamment proches les unes des autres pour que la diffusion dans ce milieu soit cohérente et au trajet du faisceau lumineux solaire incident on peut appliquer les résultats énoncés précédemment. (à suivre ...)

M. GERBALDI

Quelques références bibliographiques:

- Cours de Physique Berkley - Volume 3 : Ondes - ed. A. Colin
- Scientific American, vol. 219, p. 60, 1968 : V.W. Weisskopf
- Scientific American, vol. 188, p. 69, 1953 : V.K. La Mer, M. Kerker
- Physics of the Air - W.J. Humphreys - ed. Dover.

=====

-LES ECLIPSES-

Quand le soleil, la lune et la terre sont pratiquement alignés, se produisent les éclipses : à cause de leur diamètre apparent semblable (environ 1/2 degré), la lune peut cacher le soleil. Si la lune se déplaçait dans le plan de l'écliptique, il y aurait une éclipse de soleil à chaque nouvelle lune, et une éclipse de lune à chaque pleine-lune. Mais l'inclinaison de 5°8' du plan orbital de la lune sur le plan de l'écliptique contenant le soleil et la terre, ne permet une éclipse que lorsque la lune traverse l'écliptique (d'où le nom de ce plan), une fois tous les 346,62 jours. Il faut, de plus, que la terre soit au rendez-vous, alignée derrière la lune et la soleil, ce qui se reproduit toutes les lunaisons (= 29,53 jours).

Le hasard permet que : $223 \times (29,53j) = 19 \times (346,62j)$

Cette durée de 18 ans 11 jours 8 heures, séparant deux éclipses semblables, est appelée SAROS.

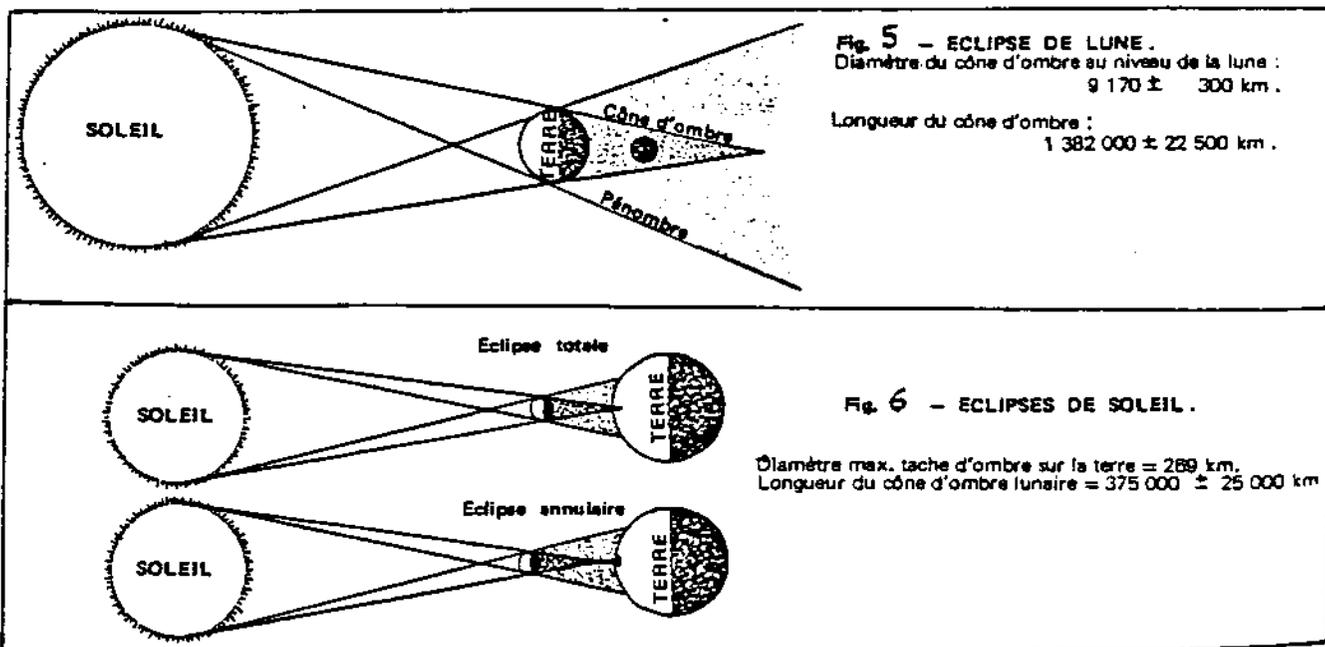
C'est la période de répétition des éclipses, qui se suivent de façon presque identique à raison de 29 éclipses de Lune et 41 de Soleil au cours d'un saros, le nombre annuel d'éclipses variant de 2 à 7.

Les ECLIPSES DE LUNE se produisent lorsque la lune passe dans le cône d'ombre ou de pénombre que la terre laisse derrière elle (Fig. 5). L'éclipse est totale, partielle, ou par la pénombre selon l'endroit que franchit la lune.

Pendant l'éclipse totale, la lune est éclairée par une faible luminosité rougeâtre ; elle est due aux rayons solaires incurvés par leur passage à travers l'atmosphère, et rougis à cause de la diffusion par les molécules de l'air.

Les ECLIPSES DE SOLEIL sont totales, partielles ou annulaires, selon les époques de l'année, à cause des variations des distances Terre-Soleil et Terre-Lune, ces objets se déplaçant sur des orbites elliptiques (Fig. 6).

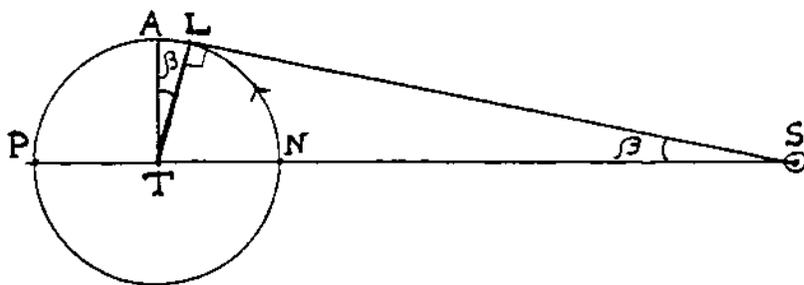
Le cône d'ombre lunaire se propage dans l'espace avec une vitesse de 3 380 km à l'heure, dans la même direction que la rotation terrestre ; la trace sur terre se déplace à 1 680km/h à l'équateur.



EXERCICE D'APPLICATION

UTILISATION DES OBSERVATIONS DES PHASES ET ECLIPSES LUNAIRES
 POUR DETERMINER LA DISTANCE TERRE-SOLEIL, selon une méthode
 découverte au 3e siècle par Aristarque.

a) Quand la lune entre dans son premier quartier, l'angle $T L S = 90^\circ$. Des observations montrent que l'intervalle de temps s'écoulant entre la nouvelle lune N et la premier quartier L est plus court de 35 minutes que l'intervalle séparant le premier quartier L de la pleine lune P. Sachant que la période synodique (ou lunaison : durée séparant deux phases identiques) de la lune est égale à $\mathcal{P} = 29$ j. 12 h, 73, estimer la distance de la Terre au Soleil, en fonction de la distance Terre-Lune.

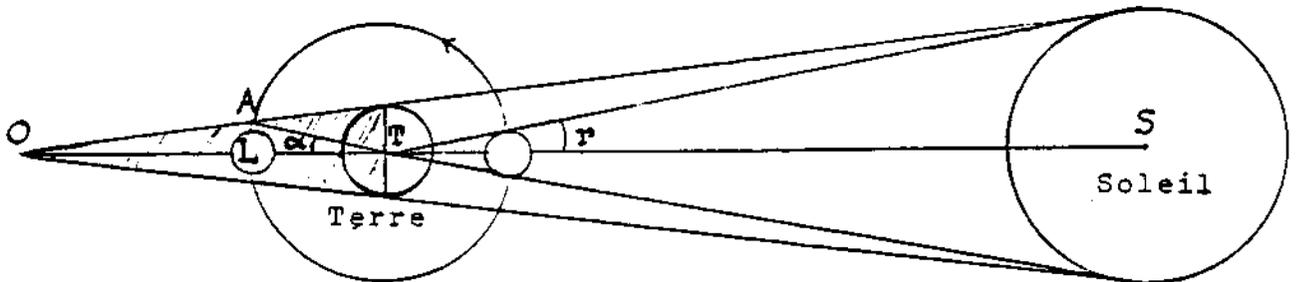


La différence des intervalles PTL et LTN peut être exprimée en unités angulaires : $(35/60 \times 24) \times (360^\circ/\mathcal{P}(\text{jours}))$.
 La distance Terre-Soleil est égale à $LT/\sin\beta$.
 Or $PTL - LTN = (90 + \beta) - (90 - \beta) = 2\beta$. L'expression de β permet de calculer le rapport $TS/TL = K$.

On trouve $\beta = 0^{\circ}, 148$, soit $\beta_{rd} = 0, 002583 \Rightarrow K = 1/\beta_{rd} \approx 387$
 Aristarque était parti d'un intervalle de temps de 12 h. (au lieu des 35 mn.), observation fautive conduisant à une valeur aberrante : $K = 19$.

b) Le rayon angulaire r de la lune est de $16'$ environ, de même que le rayon angulaire moyen du Soleil.

Par ailleurs, lors d'une éclipse de Lune, on a établi que le rayon angulaire α de l'ombre portée en L par la Terre est de $40'$. Utilisant le résultat précédent TS/TL, calculer la distance moyenne Terre-Soleil, en adoptant la valeur moyenne du rayon terrestre $R = 6\,371$ km.



Soient R_{\odot} , R et R_L les rayons du Soleil, de la Terre et de la Lune.

On aura : $TS/TL = K = (R_{\odot} - R)/(R - LA)$

$$\left. \begin{array}{l} R_{\odot} = K \cdot R_L \\ LA = \alpha / LT = \alpha \cdot R_L / r \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} (KR_L - R)/(R - \alpha R_L / r) = K \\ R_L (1 + \alpha / r) = R(1 + 1/K) \end{array}$$

$$R_L = TL \cdot r = TS \cdot r / K \rightarrow \boxed{TS = \frac{R(1+K)}{r + \alpha}}$$

$r + \alpha$ sont exprimés en radians ($1' \approx 1/3438$)

On trouve $r + \alpha = 0,0163 \Rightarrow TS = 151,6$ Millions de km.

La distance moyenne Terre-Soleil donne une bonne estimation de l'unité astronomique de distance (U.A.). L'U.A. est, par définition, la valeur du rayon de l'orbite circulaire d'une planète à masse nulle autour du soleil en 365,2569 jours. L'U.A. donne l'échelle du système solaire et, à cause de la parallaxe trigonométrique, l'échelle des distances stellaires.

Agnès Acker, Observatoire, Strasbourg.

ECOLE D'ETE INTERNATIONALE EN ASTRONOMIE - PREMIERE ANNONCE

En juillet 1979, l'Université Pierre et Marie Curie (Université Paris VI) organisera une Ecole Internationale en Astronomie à l'intention des professeurs des disciplines scientifiques de l'enseignement secondaire. L'école se tiendra sur le campus universitaire (au centre de Paris) et durera deux semaines. La langue utilisée à l'école sera le français.

Des cours théoriques exploreront le concept du "Temps" - les diverses manières de définir et de mesurer le temps (le temps de la physique, de la biologie, le temps cosmique, le tea-time etc) et la façon dont il intervient dans une grande variété de phénomènes (le calendrier, l'évolution stellaire, la relativité, etc...). L'approche sera pluridisciplinaire.

L'école insistera sur les travaux pratiques en utilisant des instruments construits sur place par les participants, ainsi que sur l'étude de données déjà existantes - par exemple, la construction de cadrans solaires (sans mathématiques!), la construction d'une horloge à quartz, observation des spectres solaire et stellaires, mesure de la température du Soleil, estimation de la distance de la nébuleuse du Crabe, etc.... La plupart des expériences nécessitent très peu de matériel et peuvent être facilement intégrées dans un cours de physique élémentaire. Les participants auront à leur disposition divers instruments et télescopes, y compris un radiotélescope "de fortune".

Des visites des observatoires de Paris et de Meudon seront organisées, ainsi qu'une excursion au Centre de Radioastronomie de Nançay (200 km de Paris).

Tous détails peuvent être obtenus en écrivant (le plus tôt possible) à:

L. M. Celnikier
Observatoire de Meudon
92190 Meudon
France

Vous êtes priés de joindre une enveloppe timbrée pour la réponse.

Lettre parue dans le "Times" du 11 juillet 1972:

"Un voyageur attend son train dans un café en face de la gare. Le train part sans lui. Très fâché, le voyageur fait remarquer au chef de gare que les horloges à l'intérieur et à l'extérieur de la gare n'indiquent pas la même heure. Le chef de gare, après s'être longuement gratté la tête, répond: "...mais Monsieur, si elles indiquaient la même heure, on n'aurait pas besoin de deux horloges!"

ECOLE D'ETE D'ASTRONOMIE DE GRASSE

Une Ecole d'Eté d'Astronomie sera organisée du 3 juillet au soir au 12 juillet 79 à midi, aux environs de Grasse. Son organisation sera assez voisine de celle qui s'est tenue à Digne-Champtercier en Septembre 1978: elle comprendra une partie d'enseignement théorique et une partie d'enseignement pratique. Les thèmes abordés seront centrés sur les programmes d'Astronomie prévus pour la classe de 4ème et pour la classe de 1ère AB.

Une visite du Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques de l'Observatoire de Paris, situé aux environs de Grasse, sera organisée.

Le prix de la pension au "Mas du Calme" est de l'ordre de 80 francs par jour; il existe une possibilité de camping et de caravanning (10 à 15 f par jour sans les repas).

Le nombre de places sera limité à 60 participants, compte-tenu des possibilités de logement et d'encadrement. Les demandes seront prises dans l'ordre de leur arrivée.

Toute demande d'inscription peut être adressée à:

Melle L. Gouguenheim

Radioastronomie, Observatoire de Meudon, 92190 MEUDON

!!

COMPTE-RENDU DE L'ECOLE D'ETE DE DIGNE

Le compte-rendu de l'Ecole d'Eté qui s'est tenue à Digne en septembre 78 sera disponible sous peu. Il inclut les enseignements théoriques et les travaux des Groupes de Travail et des Ateliers. Il peut être obtenu sur simple demande adressée à L. Gouguenheim. Une participation aux frais de 20 fr est souhaitée (CCP 2095680V Paris)