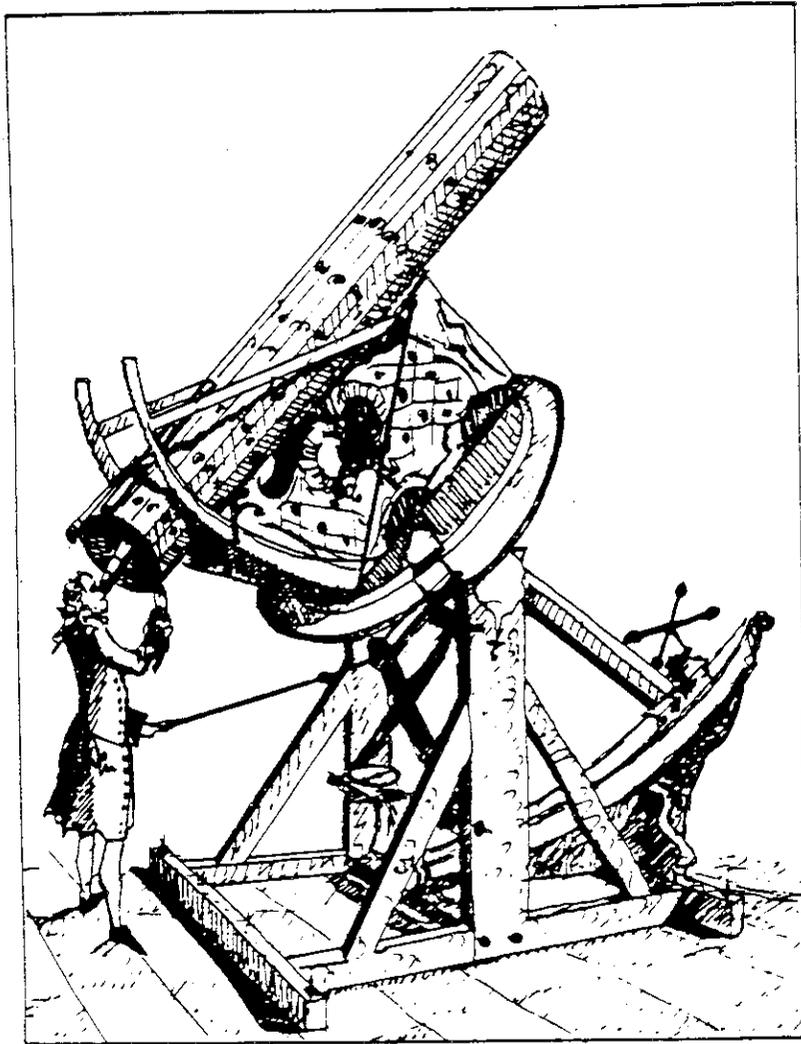


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n° 24 - printemps 1984

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 24 Printemps 1984

	page
Alchimie cosmique .....	3
Lectures pour la Marquise .....	8
Jupiter et ses satellites .....	11
Réabonnez-vous aux Cahiers Clairaut sans attendre .....	15
Modèle simplifié du système solaire .....	16
Un nouveau fournisseur de diapositives astronomiques .....	24
Lecture de Kepler (2) .....	25
Mars 1684 .....	28
L'astronomie dans le calendrier des PTT (II) .....	29
Une éclipse très partielle .....	32
Les potins de la Voie lactée .....	34
Question sur l'arc-en-ciel .....	34
Astronomie et philosophie: le modèle d'Univers d'Einstein .....	35
La tour Eiffel, tour d'horloge .....	36
Courrier des lecteurs .....	37
Astronomie en Pologne .....	38
Stages C.E.M.E.A. ....	40
Les étoiles tournent-elles durant la nuit ? .....	41
Nouvelles parutions en Astronomie .....	44
Réabonnez-vous aux Cahiers Clairaut sans attendre ! .....	44

EDITORIAL

L'Assemblée Générale du CLEA a réuni à Orsay, samedi 21 janvier, plus de cent adhérents; à l'heure où nous mettons sous presse, nous n'avons pas la possibilité de donner un compte rendu détaillé. Notre infatigable secrétaire est en train de le rédiger en décrivant son magnétophone. Un résumé sera donné dans le n° 25 des Cahiers et un compte rendu détaillé pourra être obtenu sur simple demande adressée au secrétaire du CLEA: G. Walusinski 26 Parc de la Bérengère 92210 SAINT-CLOUD. Merci à tous ceux, nombreux, qui ne pouvant participer à l'Assemblée Générale, nous ont écrit pour nous dire leur amitié et leurs vœux.

L'Assemblée générale a adopté les nouveaux tarifs pour 1984 qui, bonne nouvelle, n'ont pas augmenté. Réabonnez-vous et adhérez au CLEA pour 1984 sans attendre la lettre individuelle qui va vous être envoyée! Merci. Vous êtes 780 adhérents au CLEA et près de 1200 abonnés: c'est bien, mais avec votre aide nous pouvons faire augmenter ces nombres. N'hésitez pas à nous demander des "tracts publicitaires".

L'Assemblée Générale a aussi élu le nouveau Conseil; sa composition, ainsi que celle du Bureau élu par le Conseil seront données dans le prochain numéro des Cahiers.

La Rédaction

FICHE D'ADHESION AU CLEA (pour 1984) ET D'ABONNEMENT AUX CAHIERS CLAIRAUT

Nom.....  
 Adresse.....  
 code postal: .....

Si possible donnez l'adresse de votre établissement scolaire pour 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°25 à 28)
- désire recevoir la collection complète (n°1 à 24)

TARIFS: { cotisation seule 20f ; abonnement seul (n°25 à 28): 35f (soutien 70f)  
 { abonnement et cotisation: 50f (soutien 80f)  
 { prix de la collection complète des Cahiers Clairaut (n°1 à 24): 160f

LIBELLER LES CHEQUES A L'ORDRE DU CLEA      Retourner la fiche et le chèque à  
 Mme F. Delmas IAP 98bis Brd Arago 70014 PARIS

ALCHIMIE COSMIQUE  
LA FORMATION DES ELEMENTS CHIMIQUES DANS L'UNIVERS

Nous autres, êtres humains, sommes faits de molécules complexes dans la composition desquelles le carbone intervient beaucoup. Et ce sont les étoiles, dans les phases avancées de leur évolution, qui fabriquent le carbone. Voilà pourquoi les astronomes vous disent: "nous sommes tous passés par le coeur d'une étoile".

Mais d'où proviennent l'ensemble des éléments chimiques que nous connaissons ? Quelle alchimie leur a donné naissance ? L'observation des étoiles et du gaz interstellaire et l'analyse de leurs spectres, la physique nucléaire qui nous renseigne sur la plus ou moins grande facilité de ces différentes réactions nucléaires, l'observation de l'expansion de l'Univers qui nous permet de bâtir des modèles cosmologiques qui décrivent l'évolution de l'Univers dans ses premières secondes, autant d'outils qui permettent de dresser un tableau assez précis de la situation.

STRUCTURE ATOMIQUE.

Un atome comporte un noyau dense et de petite dimension entouré d'un certain nombre d'électrons animés d'un mouvement rapide. L'électron est une particule légère de charge négative; il existe un électron positif ou positron, identique à l'électron sauf en ce qui concerne sa charge; en présence d'électrons négatifs le positron disparaît rapidement par annihilation. Le noyau est composé de deux sortes de particules plus lourdes, qui sont les protons, dont le nombre est égal à celui des électrons, et les neutrons. Leurs masses sont voisines, le neutron étant un petit peu plus massif que le proton; leur masse commune est égale à environ 1800 fois celle de l'électron. Le proton est chargé positivement avec une charge opposée à celle de l'électron, alors que le neutron n'est pas chargé.

Les atomes correspondant à un même élément chimique sont caractérisés par leur nombre d'électrons, qui est aussi le nombre de protons contenus dans leur noyau, et qu'on appelle le numéro atomique  $Z$ ; le nombre total de nucléons est le nombre de masse  $A$ . Il en résulte que le nombre de neutrons est égal à  $A - Z$ . Deux atomes ayant le même numéro atomique  $Z$  et des nombres de masse différents sont des isotopes. L'atome le plus simple est celui de l'hydrogène, constitué d'un proton et d'un électron. Le deutérium dont le noyau contient un proton et un neutron et le tritium dont le noyau contient un proton et deux neutrons sont des isotopes de l'hydrogène. Le second élément par ordre de simplicité est l'hélium avec deux électrons et un noyau composé de deux protons et de deux neutrons (avec un isotope à un seul neutron). Vient ensuite le lithium avec trois électrons et un noyau composé de 3 protons et 4 neutrons. L'atome le plus complexe qui existe à l'état naturel est celui d'uranium, avec 92 électrons et un nombre égal de protons dans le noyau.

INVENTAIRE.

En première approximation, on peut dire qu'il y a une grande uniformité de composition chimique dans l'univers. Elle s'écarte peu de la composition du Soleil donnée ci-dessous: l'hydrogène et l'hélium sont les éléments les plus abondants; l'ensemble des autres représentent à peine 2% de la masse.

ABONDANCES DES ELEMENTS DANS LE SOLEIL (pourcentage)

H	He	O	Ne	C	N	Si	Mg	S	Fe
72,5	25,9	0,69	0,34	0,22	0,081	0,052	0,043	0,03	0,03

Cependant, si l'on étudie plus en détails les abondances des éléments lourds dans les différentes étoiles, on s'aperçoit qu'elles varient d'une étoile à l'autre; cette variation est liée en général à l'âge: les étoiles qui se sont formées à une époque reculée ont une abondance plus faible en éléments lourds.

Ceci s'explique bien dans le schéma général décrivant la formation des éléments:

- l'hydrogène et l'hélium se sont formés dans les premiers instants qui ont suivi le Big Bang
- les éléments plus lourds (C, N, O, Ne, S, Mg, Fe) se forment dans les coeurs des étoiles, par réactions thermonucléaires de fusion
- les éléments plus lourds que le fer, dont la fusion ne peut se faire qu'avec un apport d'énergie, sont formés par nucléosynthèse explosive dans les étoiles.
- les éléments légers, plus lourds que l'hélium (Li, Be, B) sont formés par réactions de spallation (fractures de certains noyaux du milieu interstellaire où des régions superficielles des étoiles sous l'impact de projectiles de grande énergie du rayonnement cosmique).

On conçoit donc que le milieu interstellaire s'enrichit peu à peu en éléments lourds à mesure que ces éléments synthétisés dans les étoiles lui sont rendus à la faveur de la destruction de ces étoiles. Les atmosphères des étoiles, dans lesquelles il n'y a ni réactions thermonucléaires de fusion ni brassage sont les témoins de la composition chimique du milieu qui les a formées.

#### FORMATION DES ELEMENTS DANS LES PHASES CALMES DE LA VIE DES ETOILES.

Les réactions thermonucléaires de fusion, principalement celle qui transforme les noyaux d'hydrogène en noyaux d'hélium, constituent la source d'énergie des étoiles, parce que la masse du noyau formé est un peu inférieure à la somme des masses des constituants: c'est ce défaut de masse qui se transforme en énergie.

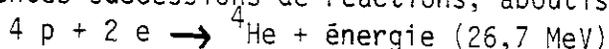
Ces réactions se produisent dans les régions centrales des étoiles, là où la contraction gravitationnelle a élevé suffisamment la température pour permettre aux noyaux chargés positivement de vaincre la barrière coulombienne et de passer suffisamment près les uns des autres pour que l'interaction nucléaire forte, de très courte portée, puisse produire la fusion. La fusion de l'hydrogène en hélium nécessite une température de  $10^7$  K, celle de l'hélium en carbone et oxygène nécessite une température de  $10^8$  K et celle du carbone et de l'oxygène  $10^9$  K.

Une étoile classique, située sur la série principale du diagramme de Hertzsprung-Russell - le Soleil par exemple - tire son énergie de la fusion de l'hydrogène. Cette phase est la plus longue dans la vie d'une étoile, pour les raisons suivantes:

- l'hydrogène est l'élément le plus abondant
- sa fusion libère une grande quantité d'énergie: elle correspond au défaut de masse le plus important de ces différentes réactions de fusion
- les réactions de fusion se produisent à un rythme qui dépend beaucoup de la température. De tous les éléments, l'hydrogène est celui qui fusionne à la plus basse température ( $10^7$  K), car c'est le noyau de plus faible charge (la barrière coulombienne est donc moins élevée). Cette réaction de fusion se produit donc à un rythme plus lent.

#### 1°) Fusion de l'hydrogène:

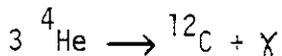
Suivant la valeur de la température, la transformation  $H \rightarrow He$  s'effectue suivant différentes successions de réactions, aboutissant toujours au bilan global:



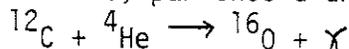
Pour plus de détails sur les différentes réactions possibles du cycle "proton-proton" donnant naissance à la formation d'un noyau d'hélium, on pourra se reporter à l'article de E. Schatzman "Les neutrinos solaires", dans le numéro 22 des Cahiers.

## 2°) Processus ultérieurs de fusion:

Quand l'étoile a épuisé l'hydrogène de son noyau, elle perd momentanément sa source d'énergie et le noyau se contracte, sous l'effet des forces de gravitation. Si la contraction permet au noyau d'atteindre la température de 100 millions de Kelvins, les réactions de fusion de l'hélium peuvent se produire à leur tour, par exemple par le choc simultané de trois noyaux d'hélium qui se transforment en un noyau de carbone:



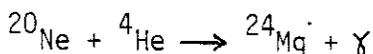
L'oxygène se forme ensuite, par choc d'un noyau d'hélium avec un noyau de carbone:



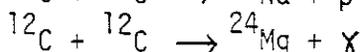
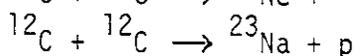
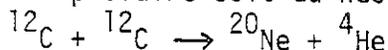
puis le néon:



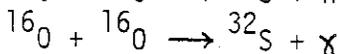
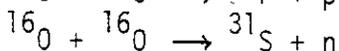
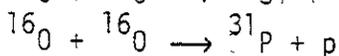
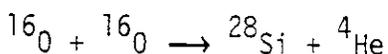
et le magnésium:



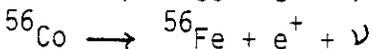
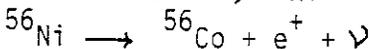
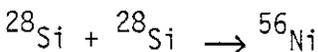
A des températures plus élevées, de 5 à  $8 \times 10^8$  K, le choc de deux noyaux de carbone peut produire soit du néon soit du sodium, soit du magnésium:



Si la température atteint  $1,5 \times 10^9$  K, l'oxygène fusionne à son tour pour former soit du silicium, soit du phosphore, soit du soufre:



Entre 2 et  $4 \times 10^9$  K enfin, le fer peut se former par la série de réactions:



En fait, les éléments de masse atomique supérieure à  $A = 40$  se forment difficilement dans ce type de réactions, car, à la température de quelques milliards de kelvins, les réactions de photodésintégration où le noyau formé est cassé par un photon de grande énergie sont importantes.

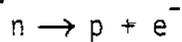
En outre, le fer est l'élément le plus stable: c'est lui qui a l'énergie de liaison maximale. La formation d'éléments plus lourds que lui nécessite donc un apport d'énergie. Ces éléments ont donc une origine différente qui provient de la nucléosynthèse explosive.

## NUCLEOSYNTHESE EXPLOSIVE.

Des éléments lourds peuvent se former par les additions successives de neutrons dans des noyaux déjà formés et transformation ultérieure de ces neutrons

en protons. Ces neutrons sont formés au cours de réactions du type de celles que nous avons décrites précédemment ou lors de l'explosion d'une supernova.

Pour pouvoir pénétrer dans les noyaux et provoquer ces transformations, ils doivent certes avoir de grandes énergies. On distingue cependant parmi eux deux catégories, ceux de plus faible énergie, que l'on dit "lents" ("slow" en anglais) et ceux que l'on dit "rapides", les plus énergétiques. Ces deux familles provoquent des réactions de type différent, que l'on appelle "s" pour la première et "r" pour la seconde. L'origine de la différence provient du résultat de la compétition entre deux processus qui sont d'une part l'addition de neutrons supplémentaires dans le noyau et d'autre part la désintégration  $\beta$  :



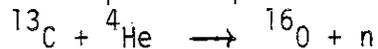
qui peut transformer un neutron en proton avec expulsion d'un électron, quand l'isotope formé est instable.

Si le flux de neutrons est lent (processus s) la désintégration  $\beta$  a le temps de se produire avant qu'un nouveau neutron s'installe dans le noyau. Au contraire, si le flux est rapide (processus r) il peut se former des noyaux beaucoup plus riches en neutrons.

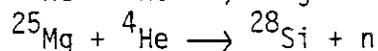
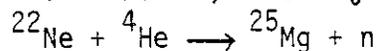
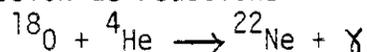
Donnons un exemple: l'isotope  $^{110}\text{Cd}$  du cadmium peut se transformer successivement, par addition de neutrons en 4 isotopes tous stables qui sont:  $^{111}\text{Cd}$ ,  $^{112}\text{Cd}$ ,  $^{113}\text{Cd}$  et  $^{114}\text{Cd}$ . L'isotope suivant,  $^{115}\text{Cd}$ , est instable; avec une période de 54 heures, il se transforme par désintégration  $\beta$  en indium (l'élément qui suit le cadmium dans le tableau de Mendeleiev), soit en  $^{115}\text{In}$ . Si le flux de neutrons est rapide, la désintégration  $\beta$  n'a pas le temps de se produire et l'adjonction d'un nouveau neutron conduit à l'isotope stable  $^{116}\text{Cd}$  du cadmium; si le flux de neutrons est lent, il se forme de l'indium. Typiquement, cet isotope  $^{116}\text{Cd}$  du cadmium ne peut se former que par un processus r. On peut donc classer les éléments et leurs isotopes dans la catégorie "r" ou dans la catégorie "s". De façon générale, les éléments plus lourds que le plomb ne peuvent se former que par un processus "r".

#### Origine des neutrons lents:

Certaines réactions de fusion qui se produisent dans les étoiles de grande masse ayant atteint le stade de géantes libèrent des neutrons d'assez grande énergie, de type "s". Citons par exemple le choc entre l'isotope  $^{13}\text{C}$  du carbone et un noyau d'hélium:



ou encore la succession de réactions:

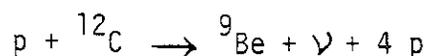


#### Origine des neutrons rapides:

Ces neutrons de très grande énergie ne peuvent se former que dans les explosions de supernovae, où une énergie gigantesque est libérée.

#### PROBLEMES DES ELEMENTS LEGERS: LES REACTIONS DE SPALLATION.

Les éléments légers, lithium, bore et béryllium, ne peuvent pas provenir des étoiles, car ils y sont détruits pour former des éléments plus lourds. Ils n'ont pas pu se former non plus dans les premiers moments de l'Univers, sauf peut-être le lithium. On pense qu'ils sont formés par des réactions de "spallation". Les protons de grande énergie du rayonnement cosmique frappant les atomes du milieu interstellaire ou des régions superficielles des étoiles provoquent la fracture de certains noyaux en plusieurs morceaux. Par exemple:



FORMATION DE L'HYDROGENE ET DE L'HELIUM AU COURS DE L'EXPLOSION PRIMORDIALE

La découverte de l'expansion de l'Univers et du rayonnement thermique cosmologique (rayonnement du fond du ciel isotrope, analogue à celui d'un corps noir à 2,7K) permettent, en remontant le temps, de décrire l'état de l'Univers peu de temps après l'instant initial de l'explosion primordiale où l'Univers avait une densité infinie. A mesure que le temps augmente à partir de cette situation singulière, la température et la densité diminuent. Les particules élémentaires se forment à partir de l'énergie. Les plus lourdes se forment au tout début, car elles nécessitent une grande énergie; les particules plus légères peuvent se former un peu plus longtemps, car elles nécessitent moins d'énergie. Comme les neutrons sont un peu plus massifs que les protons, il s'en forme un nombre un peu plus petit; pour une température de 10 milliards de kelvins, la formation des neutrons et des protons est stoppée, avec un rapport numérique n/p de l'ordre de 0,22. Ultérieurement, protons et neutrons peuvent s'assembler pour former des noyaux de deutérium. Tant que la température est supérieure au milliard de kelvin (c'est à dire pour un âge de l'Univers inférieur à 200 secondes), il ne se produit aucune réaction de fusion à cause des réactions de photodésintégration: les photons sont très énergétiques et détruisent les noyaux dès qu'ils sont formés. Quand la température a suffisamment baissé, les noyaux d'hydrogène, de deutérium et d'hélium qui se sont formés ne permettent pas le démarrage de la chaîne de réactions qui conduit aux autres éléments plus lourds, car la densité n'est plus assez grande pour permettre la formation du carbone par le choc triple de l'hélium.

L. Gouguenheim

PETIT LEXIQUE

On a adopté dans tout le texte les notations suivantes:

proton: p      neutron: n      électron: e<sup>-</sup>      positron: e<sup>+</sup>      neutrino:  $\nu$   
 photon:  $\gamma$

Un noyau est représenté pour un élément E de numéro atomique Z et de nombre de masse A par le symbole:  $A_E$

Deux isotopes, de nombre de masse A et A+1 sont donc écrits:  $A_E$  et  $A+1_E$

On cite au cours du texte un certain nombre d'éléments et d'isotopes de ces éléments. On rappelle ci-dessous leur constitution

élément		Z	A (isotope classique)	A (autres isotopes)
hydrogène	H	1	1	2 (deutérium) 3 (tritium)
hélium	He	2	4	3
lithium	Li	3	7	
béryllium	Be	4	9	
carbone	C	6	12	13
oxygène	O	8	16	18
néon	Ne	10	20	22
sodium	Na	11	23	
magnésium	Mg	12	24	25
silicium	Si	14	28	
phosphore	P	15	31	
soufre	S	16	32	31
fer	Fe	26	56	
cobalt	Co	27	59	56
nickel	Ni	28	59	56
cadmium	Cd	48	112	110,111,113,114,115,116
indium	In	49	115	

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

La mécanique comme initiation culturelle à la physique Des livres mauvais ou médiocres, mieux vaut ne rien dire. Des bons livres, au contraire, on n'en finira jamais d'inventorier ce qu'ils vous apprennent ou ce par quoi ils vous font plaisir, ce dernier "ou" n'étant pas exclusif. C'est bien le cas du récent livre de Luc Valentin, "L'Univers mécanique" dont le sous-titre est justement prometteur "Introduction à la physique et à ses méthodes" (un volume broché sous couverture illustrée, 300 pages, format 165/240, prix 140 F, éd.Hermann). (niveau III)

L'ouvrage est issu d'un cours "donné tout au début du cursus universitaire, au premier trimestre du premier cycle" à l'Université Paris VII. Issu d'un cours, mais enrichi d'une réflexion postérieure au cours oral, tenant compte, j'imagine, des réactions des étudiants. Il bénéficie d'un style vivant et d'un finognage dans la rédaction ou les exercices qui rend la lecture particulièrement attrayante. Bref, un livre d'une qualité et d'un intérêt exceptionnels. Je l'ai lu avec un plaisir qui n'a pas faibli du début à la fin, qui a même augmenté. Je relis les passages qui m'ont paru plus difficiles, j'y retourne quand je butte sur certains exercices particulièrement astucieux. Je garde le livre à portée de la main et je crois que beaucoup d'enseignants feront comme moi parce qu'il est aussi une mine de suggestions pédagogiques.

Luc Valentin était déjà l'auteur de deux excellents livres, "Physique sub atomique, noyaux et particules" (tome 1, approche élémentaire; tome 2, développements ; éd.Hermann). Par cette répartition en deux volumes, l'auteur soulignait l'importance d'une bonne compréhension des principes, préoccupation toujours sensible dans "L'Univers mécanique". Pour marcher dans le sens direct, disait à peu près Alain, l'enseignement doit prendre du recul.

Je reviendrai sur la forme. Donnons un aperçu du contenu. En introduction, un chapitre savoureux sur l'univers de la physique ; c'est pourtant de mécanique qu'il sera question mais l'auteur veut nous habituer à ne pas penser étroitement. Les cinq ou six pages sur l'analyse dimensionnelle sont particulièrement stimulantes. Première partie (chap 2,3 et 4), les bases de la mécanique classique, pour aboutir sur les référentiels en mouvements relatifs aux problèmes de transformation des vitesses et des accélérations et, par suite, à des aperçus sur la relativité. Seconde partie (chap 5, 6 et 7) sur les lois de conservation de l'énergie, de la quantité de mouvement, du moment cinétique. C'est peut-être la partie du livre la mieux réussie. L'auteur n'oublie pas de signaler comment les résultats classiques sont conservés ou doivent être corrigés dans le cadre de la relativité générale. Troisième partie sur quelques techniques de la théorie, les systèmes à deux corps puis les systèmes à n corps. Enfin en appendice transformation de Lorentz et principe de relativité.

Mais cette énumération nécessaire n'est pas suffisante pour faire sentir tout ce que la lecture attentive de cet ouvrage peut

apporter. Un mot de l'introduction fait comprendre ce qui est tellement séduisant dans cet exposé : "Il s'agit d'une sorte d'introduction à la physique -des atomes aux étoiles - et à ses méthodes -du bricolage aux grands principes." C'est un physicien qui nous parle, un physicien qui se sert des outils mathématiques à bon escient, non pour nous assommer de formules savantes. Un pédagogue qui aime montrer, dès qu'il a obtenu un beau résultat qu'on peut s'en servir pour expliquer un phénomène familier pris dans les domaines les plus variés, de l'atome aux étoiles en effet. Pas de théorie gratuite par laquelle l'auteur se ferait plaisir mais une foule de bons exemples qui prouvent que les bonnes théories établies ne s'usent pas quand on s'en sert. Exemples, le moment cinétique orbital et intrinsèque (le spin) des planètes, le vent solaire, etc.

Un physicien qui lancerait bien quelques pointes humoristiques vers les mathématiques si on l'y poussait un peu. J'ai noté sa pudeur à employer le mot théorème, survivance, en mécanique, du temps où cette science était une branche des mathématiques. Je compare à ce propos le livre de Valentin avec celui de P.Brousse ("Cours de mécanique", éd A.Colin, 1973) de même niveau. Pour moi, ils sont complémentaires : l'un pense d'abord aux phénomènes, l'autre au modèle mathématique.

Dans la conception qui est la sienne, Valentin réussit admirablement. Dans chaque chapitre, une variété d'exemples, un choix d'exercices savoureux comme celui-ci : "Ne trouvez-vous pas miraculeusement simple le principe fondamental [de la dynamique] puisqu'il ne fait intervenir que la dérivée seconde de la position pondérée par une constante  $m$  ? Pourquoi ne pas songer à faire intervenir la position et ses dérivées successives jusqu'à l'infini, chacune pondérée par une constante de dimension appropriée ?"

Valentin veut faire réfléchir son lecteur. Dans les notes, en fin de livre, il cite beaucoup de lectures recommandées. En introduction de plusieurs chapitres, il intervient par des réflexions générales souvent appuyées de citations bien choisies. Ainsi la note en bas de la page 298 oppose Aristote (la Nature tient un seul langage et nous instruit) à Epicure (la Nature n'a rien à nous dire...)."Et vous, questionne Valentin, avez-vous déjà débusqué de "votre physique" vos préjugés sur la nature et l'artifice?" Valentin ne prend pas son lecteur pour un imbécile qui n'étudierait la mécanique que pour gagner un rang dans le concours d'une "grande" école. Si vous sortez de la lecture de son livre sans aimer la mécanique, vous allez désespérer les pédagogues.

Encore un mot sur le style très direct, vivant, imagé parfois, précis toujours. Judicieuse la distinction entre la vitesse qui est un vecteur et la célérité qui est le module ou la norme de ce vecteur (Valentin dit module, je préfère norme avec l'AFNOR). Par contre, je regrette, à la page 181 qu'un vecteur  $r$  soit appelé "distance". Autre question, à propos du mot direction qui en principe désigne la propriété d'une droite, sens étant la propriété d'une demi droite ; mais on dit couramment "la direction de la Polaire" en parlant évidemment d'une demi droite. Parler est bien difficile. Ecrire aussi puisque, p.99, je lis "la terre en tant que référentiel" au lieu de "la Terre..."

En tête du livre, cette citation de Galilée : "Je ne considère pas qu'il y a faute à parler de choses nombreuses et variées, même dans ces traités qui n'ont qu'un sujet particulier... car je crois que ce qui donne grandeur, noblesse et excellence à nos actions et inventions ne repose pas dans ce qui est nécessaire..." Alors comprenez-vous pourquoi le livre de Valentin est aussi plaisant qu'unstructif ?

Trois livres très différents que je me contente de signaler mais sur lesquels je promets de revenir plus longuement.

"JPL and the American space program" par Clayton R. Koppes ; 300 p relié ; éd Yale University Press, London ; prix 16,95 livres. Toute l'histoire de JPL, Jet Propulsion Laboratory depuis sa fondation dans les années 30 par les pionniers de la propulsion à réaction jusqu'à la coopération avec la NASA et l'exploitation scientifique des sondes Voyager. En passant par la période de la guerre. Un document de référence pour l'étude des relations entre la recherche scientifique et les problèmes politiques. Pour ceux qui lisent l'anglais. (niveau III)

"La pratique de l'astronomie" par Bernard Carbonneaux, Philippe Didier et Claude Mathieu ; collection "Activités dans la mathématique" ; 222 pages, format 20/20 ; éd CEDIC. Prix : 96 F. (niveau I)

Les auteurs qui, pour le CLEA, sont les animateurs de l'enseignement de l'astronomie dans les Ardennes, nous donnent, avec ce livre, le fruit de leur expérience aussi bien à l'école élémentaire que pour la formation des maîtres. Bref, tout ce qu'il faut savoir pour initier modestement mais correctement les jeunes et satisfaire par conséquent leur légitime curiosité.

"Progrès et découvertes en astronomie" par Martin Harwit, traduit de l'américain par France et Jean-Louis Heudier ; préface de Evry Schatzman ; 302 pages, format 16/24 cm ; éd Masson ; prix 180 F.

Ce n'est pas un livre ordinaire, écrit le préfacier : une étude historique d'actualité sur les liens entre les moyens d'observation et les découvertes. L'auteur tente d'en déduire un système de la découverte qui pourrait servir à établir des programmes de recherche. Un ouvrage certainement très important, dont la lecture est certainement recommandée aux spécialistes mais pas forcément qu'à eux seuls. (niveau III)

Le phénomène d'Impesanteur Tel est le thème du dossier dans le n° 26 d'octobre 1983 de "Espace Information". Jean-Pierre Penot, du CNES, nous avait déjà donné précédemment un remarquable dossier "De la pesanteur à la gravitation". Il préfère "impesanteur" à "apensanteur" pour une très bonne raison phonétique : comment distinguer "la pesanteur" et "l'apesanteur" ? Ce dossier est illustré de nombreux graphiques et comporte deux pages fort instructives sur "quelques idées fausses sur l'impesanteur". En tout cas, une lecture à ne pas manquer. (niveau II)

Compte rendu de l'école d'été 1982 à SophiaAntipolis L'édition a subi divers retards, mais le résultat est là : superbe !

Gilbert Walusjnski

JUPITER ET SES SATELLITES

Cet article se décomposera en trois parties:

- A/ détermination de la période de révolution des satellites de Jupiter à partir de photographies.
- B/ mesure de la masse de Jupiter .....sans balance!
- C/ mesure de la masse de Jupiter .....avec un chronomètre!

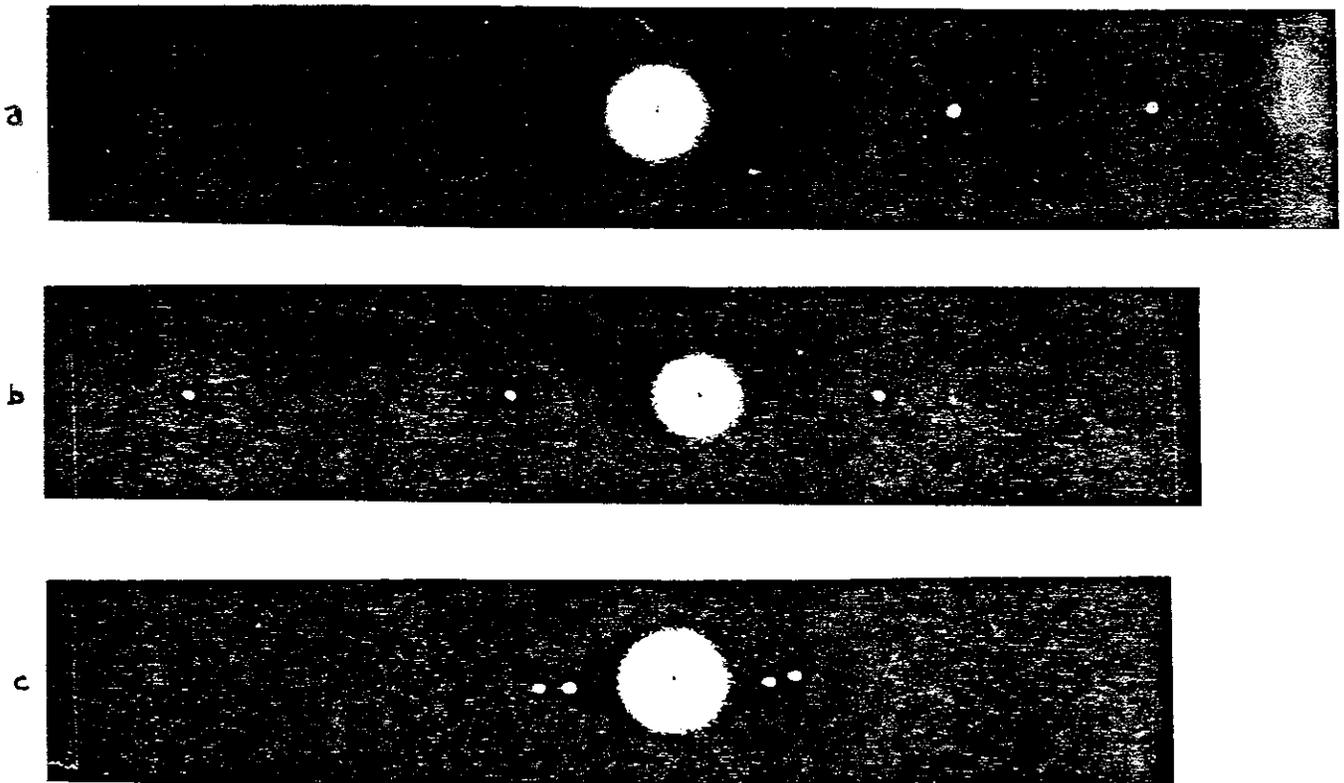
A/ PERIODE DE REVOLUTION DES SATELLITES DE JUPITER.

I/ DONNEES INDISPENSABLES:

Deux types d'information sont nécessaires pour obtenir le résultat recherché: - une donnée "théorique": la distance Terre-Jupiter au moment de l'obtention des photographies.

- deux résultats d'observation de l'amateur: échelle des clichés ( en " d'arc par mm) et au minimum trois clichés du système jovien (avec date et heure).

1°) Aspects des lunes de Jupiter pendant l'opposition de 1979:



( Célestron 8, foyer de 2m, pose 10 à 4 s sur HP 5 Ilford 400 ASA)

- a/ le 01-01-79 à 22h 44mn TU
  - b/ le 09-01-79 à 23h 34mn TU
  - c/ le 13-01-79 à 21h 08mn TU
- échelle des clichés:  $\approx 8,9''$  par millimètre.

2°) Distance Terre-Jupiter:

(voir annexe 1, extrait des éphémérides de la SAF)

On constate que cette distance varie peu du 1 au 21 et qu'elle est presque minimale: en effet, c'est le 25 janvier qu'a lieu l'opposition. Prendre donc une

valeur moyenne de ..... UA. L'unité astronomique valant  $149,6 \cdot 10^6$  km, calculer la distance recherchée: ..... km (trois chiffres significatifs suffisent).

ANNEXE 1

136

ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES

JUPITER 1979

Date	Mag	A Paris (TU)			Position à 0 <sup>h</sup> TU			
		Lever	Passage au méridien	Coucher	Ascension droite	Déclinaison	Distance à la Terre (UA)	Diamètre apparent équatorial
		h m	h m	h m	h m	°		"
Janv. 1	-2,1	18 8	1 48,3	9 25	8 38,2	+19 5	4,374	45,0
11	2,1	17 22	1 4,3	8 42	8 33,4	19 25	4,318	45,6
21	2,2	16 35	0 19,7	8 0	8 28,1	19 45	4,294	45,9
31	2,1	15 48	*23 30,4	7 17	8 22,6	20 5	4,300	45,8
Févr. 10	2,1	15 2	22 45,9	6 34	8 17,3	20 23	4,338	45,4
20	2,1	14 17	22 2,0	5 52	8 12,7	20 39	4,406	44,7
Mars 2	2,0	13 33	21 19,2	5 10	8 9,0	20 51	4,500	43,8
12	2,0	12 50	20 37,4	4 29	8 6,5	20 58	4,616	42,7
22	1,9	12 10	19 57,0	3 49	8 5,3	21 2	4,751	41,5
Avril 1	1,9	11 30	19 18,0	3 9	8 5,4	21 1	4,898	40,2
11	1,8	10 53	18 40,2	2 31	8 6,9	20 57	5,054	39,0
21	1,7	10 17	18 3,6	1 53	8 9,5	20 48	5,214	37,8
Mai 1	1,7	9 43	17 28,2	1 17	8 13,4	20 36	5,373	36,7
11	1,6	9 10	16 53,7	0 41	8 18,2	20 20	5,529	35,6
21	1,5	8 38	16 20,1	0 5	8 23,9	20 1	5,678	34,7
31	1,5	8 8	15 47,2	*23 27	8 30,3	19 39	5,817	33,9
Juin 10	1,4	7 38	15 14,9	22 52	8 37,3	19 14	5,943	33,1
20	1,4	7 9	14 43,2	22 18	8 44,9	18 45	6,056	32,5
30	1,4	6 40	14 11,8	21 43	8 52,9	18 14	6,152	32,0
Juill. 10	1,3	6 12	13 40,7	21 9	9 1,1	17 40	6,230	31,6
20	1,3	5 45	13 9,9	20 35	9 9,6	17 4	6,290	31,3
30	1,3	5 17	12 39,1	20 1	9 18,2	16 26	6,331	31,1
Août 9	1,3	4 50	12 8,4	19 27	9 26,9	15 46	6,351	31,0
19	1,3	4 23	11 37,7	18 52	9 35,5	15 5	6,351	31,0
29	1,3	3 56	11 6,9	18 18	9 44,1	14 23	6,331	31,1
Sept. 8	1,3	3 28	10 35,9	17 43	9 52,5	13 41	6,290	31,3
18	1,3	3 0	10 4,7	17 9	10 0,6	12 59	6,229	31,6
28	1,3	2 32	9 33,1	16 34	10 8,4	12 18	6,149	32,0
Oct. 8	1,4	2 4	9 1,1	15 58	10 15,8	11 39	6,051	32,5
18	1,4	1 34	8 28,7	15 23	10 22,7	11 1	5,937	33,2
28	1,5	1 4	7 55,6	14 47	10 29,0	10 27	5,808	33,9
Nov. 7	1,5	0 33	7 21,8	14 11	10 34,6	9 56	5,667	34,8
17	1,6	0 0	6 47,3	13 34	10 39,5	9 30	5,517	35,7
27	1,6	*23 23	6 11,9	12 57	10 43,4	9 9	5,361	36,7
Déc. 7	1,7	22 48	5 35,4	12 19	10 46,3	8 54	5,202	37,9
17	1,8	22 11	4 57,9	11 41	10 48,1	8 46	5,046	39,0
27	1,8	21 32	4 19,2	11 2	10 48,7	8 45	4,897	40,2
37	-1,9	20 51	3 39,2	10 23	10 48,2	+ 8 51	4,759	41,4

\* Passages à 0<sup>h</sup> 1<sup>m</sup> 7 et à 23<sup>h</sup> 57<sup>m</sup> 3, le 25 janvier. Couchers à 0<sup>h</sup> 2<sup>m</sup> et à 23<sup>h</sup> 58<sup>m</sup>, le 22 mai. Levers à 0<sup>h</sup> 0<sup>m</sup> et à 23<sup>h</sup> 57<sup>m</sup>, le 17 novembre.

II/ PERIODE DE REVOLUTION DE GANYMEDE ET CALLISTO:

Les quatre lunes principales de la planète géante du système solaire ont été découvertes par Galilée en 1610 avec une lunette modeste. Une paire de jumelles suffit à les observer. En partant de Jupiter on rencontre respectivement les orbites de Io (I), Europe (II), Ganymède (III) et Callisto (IV). A cause de leurs mouvements autour de la planète-reine, cette propriété ne permet pas de les identifier.

1°) Nom des satellites photographiés:

a/ le coup d'oeil du spécialiste

n° du satellite	I	II	III	IV
magnitude	4,8	5,2	4,6	5,5

III est donc le satellite le ..... brillant.

IV est donc le satellite le ..... brillant.

Sachant que seuls (III) et (IV) sont toujours présents sur les photos a, b et c, déterminer leur position sur a, b et c.

b/ vérification (voir annexe 2)

Identifier également Io et Europe .

2°) Ordre de grandeur des périodes de révolution de (III) et (IV):

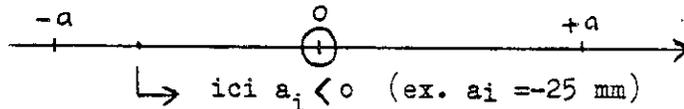
L'observation visuelle entre le 1/1 et le 9/1 a montré :

- que (III) n'est passé qu'une fois devant, puis une fois derrière le globe jovien (entre les clichés a et b). Sa période T de révolution est donc T approchée  $\simeq$  ....  $\pm$  1 jour

- que (IV) n'a effectué qu'un seul passage devant Jupiter (entre a et b) T approchée  $\simeq$  ....  $\pm$  1 jour

3°) L'équation miracle ou la calculatrice programmable au secours de l'astronome:

a/ définitions : on admettra que le mouvement apparent du vieux roi de l'Olympe, vu de la Terre, est alternatif rectiligne, mieux: rectiligne sinusoïdal. La justification est donnée à l'annexe 3. Soit a l'amplitude,  $a_i$  l'abscisse du satellite sur le cliché n° i (par rapport à un repère centré sur le centre de l'image planétaire dirigé vers la droite)



b/ mesures des  $a_i$ : Avec une règle graduée, mesurer au demi-millimètre près les  $a_i$  des satellites (III) et (IV).

n° du cliché	a	b	c
$a_i$ en mm pour (III)			
$a_i$ en mm pour (IV)			

c/ équation miracle ou recherche d'une valeur plus fine de T.:

\* Interressons nous à une seule des lunes à la fois: calculons l'ordre de grandeur de la pulsation de son déplacement, c'est à dire le nombre de degrés parcourus par minute:

$$\omega = 360/T \quad \text{en } \circ/\text{mn} \quad \omega \text{ approchée } \simeq \dots\dots\dots \circ/\text{mn}$$

\* Calculer l'intervalle de temps écoulé entre les photos a et b  $\tau = \dots\dots\text{mn}$   
entre les photos a et c  $\tau' = \dots\dots\text{mn}$

\* alors la bonne valeur de  $\omega$  (donc de T) vérifie l'équation:

$$\Sigma = a_1 \sin \omega (\tau - \tau') - a_3 \sin \omega (\tau) + a_2 \sin \omega (\tau') = 0 \quad \text{eh oui!}$$

( voir annexe 3 )

\* avec les valeurs  $a_1, a_2, a_3, \tau$  et  $\tau'$  obtenues et placées dans  $\Sigma$ , en partant de  $\omega$  approchée, rechercher par approches successives une valeur de  $\omega$  qui annule  $\Sigma$  en utilisant une calculatrice programmable.

$\omega$ en $\circ/\text{mn}$	$\omega$ appr.:			
$\Sigma$				

\* D'où pour le satellite III  $\omega \approx \dots \text{ }^\circ/\text{mn}$   $T_{\text{III}} = \dots \text{ jours}$   
 et pour le satellite IV  $\omega \approx \dots \text{ }^\circ/\text{mn}$   $T_{\text{IV}} \approx \dots \text{ jours}$

\* Les périodes ainsi calculées sont celles rapportées à l'observateur terrestre. Mais la Terre tourne autour du Soleil, aussi la période observée est plus courte que celle rapportée aux étoiles: période sidérale. Calculer la période sidérale pour III et IV

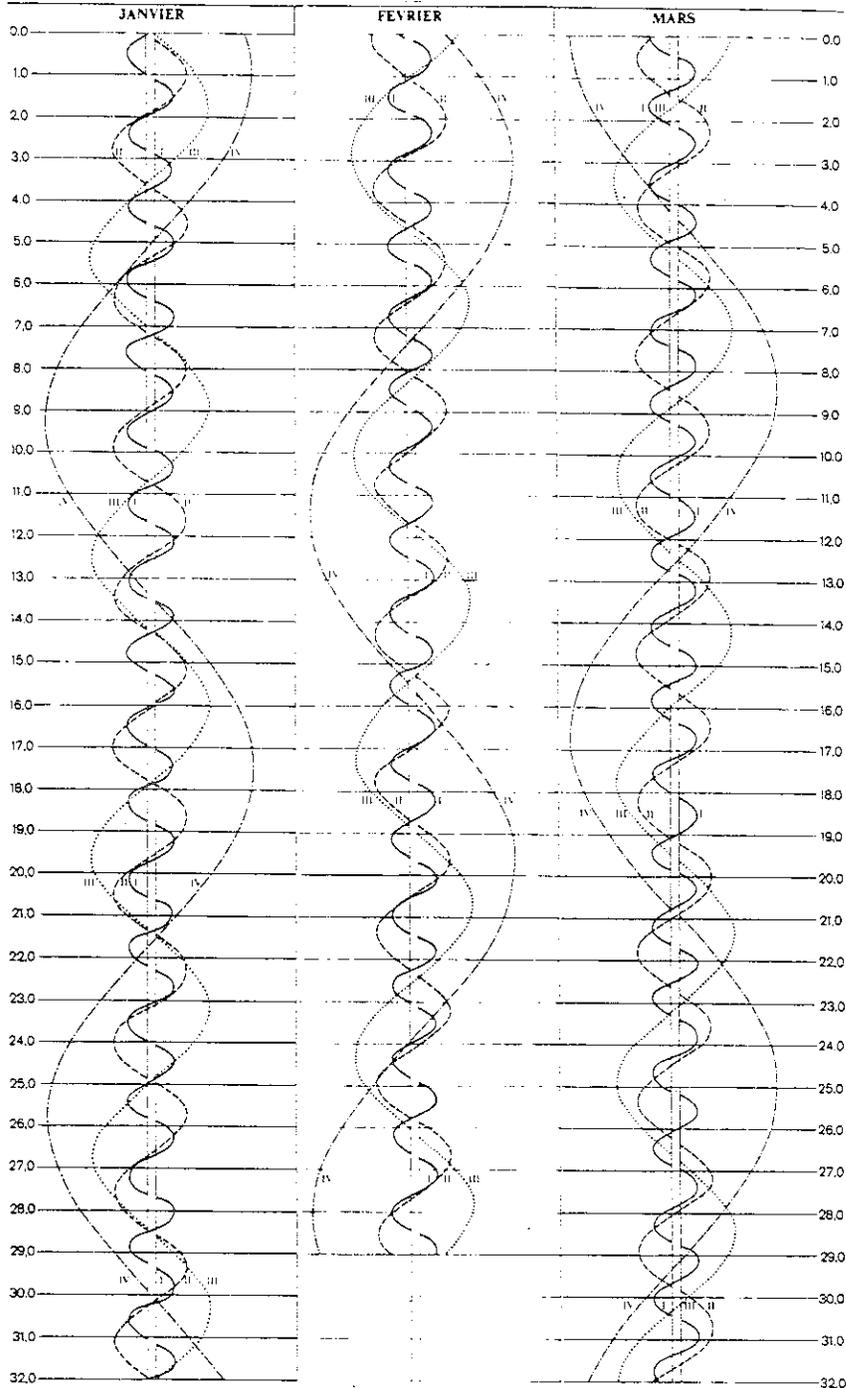
avec:  $\frac{1}{T_{\text{sidérale}}} \approx \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{révolution de la terre autour du soleil}}}$

ANNEXE 2

158

ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES

CONFIGURATIONS DES SATELLITES GALILÉENS DE JUPITER EN 1979



vus à travers une lunette.

ANNEXE 3

1) Approximations: compte tenu de la faible excentricité de leur orbite (Io :  $6 \cdot 10^{-4}$ , Europe :  $10^{-3}$ , Ganymède :  $1,4 \cdot 10^{-3}$ , Callisto :  $7,4 \cdot 10^{-3}$ ), le mouvement des satellites sera considéré comme circulaire et uniforme.

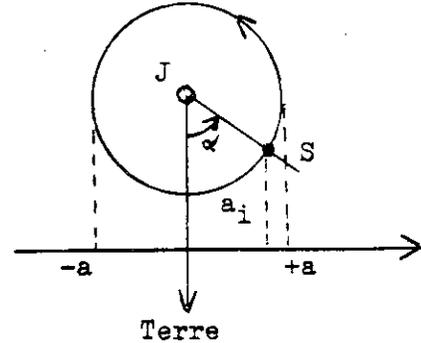
Du fait de la faible inclinaison du plan de leur mouvement (moins de  $4^\circ$ ); sur la ligne de visée Terre-Jupiter, leur déplacement vu de la Terre sera considéré comme rectiligne.

2) Hypothèses de départ:

$$a_i = a \sin \alpha \quad \text{avec} \quad \alpha = \omega t + \Phi_0$$

prenons l'origine des temps à la photo a

$$\begin{cases} a_1 = a \sin \Phi_0 & (1) \\ a_2 = a \sin (\omega \tau + \Phi_0) & (2) \\ a_3 = a \sin (\omega \tau' + \Phi_0) & (3) \end{cases}$$



3) Obtention de  $\omega$ ,  $a$  et  $\Phi_0$ :

On a 3 équations (1), (2), (3) et 3 inconnues  $a, \omega, \Phi_0$ .

$$\begin{cases} \frac{a_1}{a} = \sin \Phi_0 & (1') \\ \frac{a_2}{a} = \sin \Phi_0 \cos \omega \tau + \cos \Phi_0 \sin \omega \tau & (2') \quad \sin(a+b) = \sin a \cdot \cos b + \cos a \cdot \sin b \\ \frac{a_3}{a} = \sin \Phi_0 \cos \omega \tau' + \cos \Phi_0 \sin \omega \tau' & (3') \end{cases}$$

dans  $\left. \begin{matrix} (1') \\ (2') \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{a_2}{a} = \frac{a_1}{a} \cos \omega \tau \pm \sqrt{1 - \frac{a_1^2}{a^2}} \cdot \sin \omega \tau$  car  $\sin^2 \Phi_0 + \cos^2 \Phi_0 = 1$   
 $\pm$  suivant le signe de  $\cos \Phi_0$ .

d'où:  $a_2 = a_1 \cos \omega \tau \pm \sqrt{a^2 - a_1^2} \cdot \sin \omega \tau$  (4)

(1') dans (3')  $a_3 = a_1 \cos \omega \tau' \pm \sqrt{a^2 - a_1^2} \cdot \sin \omega \tau'$  (5)

(4)  $\Rightarrow \pm \sqrt{a^2 - a_1^2} = \frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau}$  (6)

(6) dans (5)  $a_3 = a_1 \cos \omega \tau' + \frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau} \sin \omega \tau'$

d'où  $a_3 \sin \omega \tau = a_1 \cos \omega \tau' \sin \omega \tau + a_2 \sin \omega \tau' - a_1 \cos \omega \tau \sin \omega \tau'$

$$\begin{aligned} a_3 \sin \omega \tau - a_2 \sin \omega \tau' &= a_1 (\cos \omega \tau' \sin \omega \tau - \cos \omega \tau \sin \omega \tau') \\ &= a_1 \sin \omega (\tau - \tau') \end{aligned}$$

Donc  $a_1 \sin \omega (\tau - \tau') - a_3 \sin \omega \tau + a_2 \sin \omega \tau' = 0$

de (6) on tire:  $a = \sqrt{\left(\frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau}\right)^2 + a_1^2}$

(... à suivre)

P. LE FUR (Le Mans)

\*\*\*\*\*

REABONNEZ-VOUS AUX CAHIERS CLAIRAUT SANS ATTENDRE !!!

Voir les conditions de réabonnement (n° 25 à 28) et d'adhésion au CLEA (1984) en page 2.

MODELE SIMPLIFIE DU SYSTEME SOLAIRE

Note de la Rédaction: cet article utilise l'équation de Kepler, qui n'est peut-être pas connue de tous les lecteurs. Elle sera traitée plus en détails dans un prochain article du même auteur. Pour la compréhension de ce qui suit, nous précisons ici les notations et les relations utilisées.

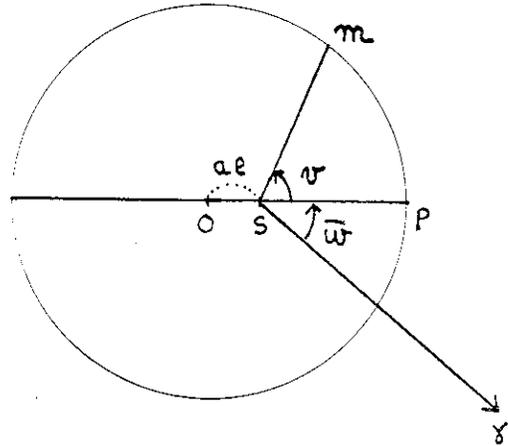
La planète,  $m$ , décrit avec la période  $T$  une orbite elliptique d'excentricité  $e$  dont on assimile la forme à celle d'un cercle et dont le Soleil occupe un foyer. La planète est repérée par son angle polaire  $v$ , mesuré à partir de la direction du périhélie  $P$  ( $SP = a - ae$ ).

On montre que, si  $M = (2\pi/T)(t-t_p)$

(où  $t_p$  est la date de passage en  $P$  et  $t$  celle de passage en  $m$ ) l'angle  $v$  est donné en première approximation pour une valeur de l'excentricité  $e$  faible devant l'unité, par la relation:

$$v = M + 2e \sin M$$

où  $v$  et  $M$  sont exprimés en radians. Pour exprimer  $v$  et  $M$  en degrés, on remplace  $2e$  par son équivalent en degrés qui est noté  $k$  dans le texte ci-dessous.



1. BUT : Déterminer, à une date donnée, si une planète est visible ou non, et déterminer ses heures approximatives de lever et coucher.

2. Matériel nécessaire.

- méthode de calcul ci-après,
- rapporteur, double décimètre,
- table trigo. ou calculatrice "scientifique",
- calendrier des PTT donnant les heures de lever et coucher du Soleil (peu importe le millésime !)

3. Hypothèses simplificatrices.

On suppose que les planètes se déplacent dans le plan de l'écliptique (celui de l'orbite terrestre), sur des cercles excentrés, à vitesse non constante. La précision est de l'ordre de 0,5 degré pour les angles sur une durée de 50 ans environ; mais le calcul est bien plus facile qu'un calcul d'éphémérides.

4. Unités employées.

- Angles: comptés positivement dans le sens direct de 0° à 360°, à partir d'une direction de référence  $S\gamma$ . ( $S$  est le Soleil,  $S\gamma$  est la direction du point vernal ou équinoxe de printemps).
- Distances: en unités astronomiques (UA)
- Durées: en années juliennes de 365,25 jours.

5. Méthode.

On se fixe une origine des temps, par exemple le 1er janvier 1983.

- 1° Déterminer le nombre de jours  $N$  écoulés depuis (ou "avant") cette origine (à 0h) jusqu'à la date utilisée pour le calcul.
- 2° Exprimer cette durée en année:  $T=N/365,25$
- 3° Calculer l'angle  $M$  (avec cette valeur de  $T$ ) en utilisant l'expression donnée dans le tableau pour la planète choisie. Ramener  $M$  entre 0° et 360°.
- 4° Calculer l'angle  $v$  défini par  $v=M+k*\sin M$
- 5° Ajouter à  $v$  la valeur  $w$  du tableau. L'angle obtenu  $L=v+w$  est la longitude héliocentrique de la planète (à 360° près).
- 6° Calculer la distance de la planète par  $R=a*(1-e*\cos M)$  où  $e$  désigne l'excentricité de l'orbite et  $a$  son rayon.
- 7° Déterminer graphiquement ou par le calcul (voir exemple) l'élongation de la planète par rapport au Soleil.

6. Valeurs à employer .

Planètes	M(T) en degrés T en années	k(°)	$\bar{w}$ (°)	e	a(UA)
Mercure	323°,4+1494,72*T	23°,5	77°,2	0,205	0,39
Vénus	182°,0+ 585,18*T	0°,8	131°,3	0,007	0,72
Terre	357°,4+ 360,00*T	1°,9	102°,6	0,017	1,00
Mars	5°,5+ 191,40*T	10°,7	335°,7	0,093	1,52
Jupiter	223°,1+ 30,35*T	5°,5	15°,2	0,048	5,20
Saturne	108°,3+ 12,22*T	6°,4	93°,7	0,055	9,50

Remarque: pour Mercure, compte tenu de la forte excentricité de l'orbite, on aura la précision souhaitée en prenant  $k=23°,5+6°\cdot\cos M$  soit  $v=M+(23°,5+6°\cdot\cos M)\cdot\sin M$ . Sinon, les écarts sont importants.

7.Exemple .

On cherche à observer Vénus le 1er avril 1984 à 0h(TU).

$$N=365 + 31 + 29 + 31 = 456 \text{ jours depuis le } 1/1/83$$

$$T=N/365,25 = 1,248 \text{ 46 an.}$$

a) Position de la Terre:

$M=357,4+360\cdot 1,24846=806,8 = 86°,8 \text{ (mod.360)}$ . On ne garde qu'un seul chiffre décimal. D'où  $\cos M=0,056$  et  $\sin M=0,998$ .

$$v=M+1,9\cdot\sin M = 88°,7$$

$$L=v+\bar{w}= 88,7+102,6 = \underline{191°,3} \text{ (à } 360° \text{ près si besoin est).}$$

$$R=1\cdot(1-0,017\cdot\cos M)= \underline{0,999 \text{ UA}}$$

b) Position de Vénus:

$M=182,0+585,18\cdot 1,24846 = 192°,6$ .  $\cos M=-0,976$  et  $\sin M=-0,217$

$$v=M+0,8\cdot\sin M = 192°,4$$

$$L=v+\bar{w}= 192,4+131,3 = \underline{323°,7} \text{ (ou } -36°,3)$$

$$R=0,72\cdot(1-0,007\cdot(-0,976)) = \underline{0,725 \text{ UA}}$$

On a alors les positions héliocentriques de la Terre et de Vénus.

8.Construction graphique.

On reporte sur le plan (de l'écliptique) les valeurs L et R en coordonnées polaires. Prendre par exemple une échelle de 5cm/UA.

On mesure au rapporteur et au double décimètre:(cf fig.1)

-l'angle S (élongation) à partir de la direction du Soleil,

-la distance R' de Vénus à la Terre. Cette valeur nous donnera une information sur l'éclat relatif de Vénus.

Les mesures donnent:

$$\underline{S=-19°,5} \text{ et } \underline{R'=1,58 \text{ UA}}$$

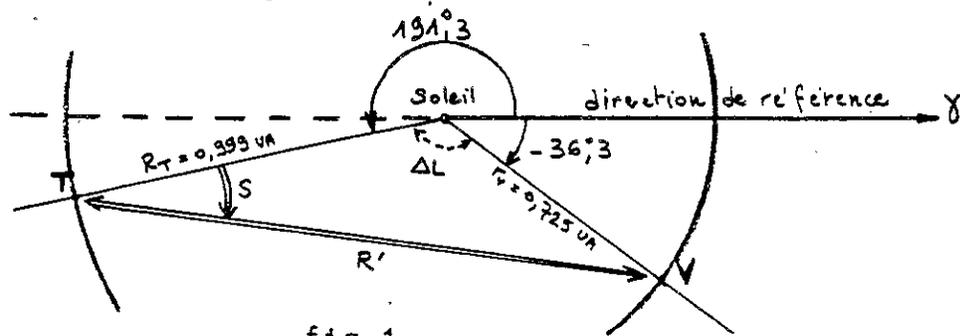


fig.1

Il est possible de calculer S et R' et de contrôler ainsi la construction graphique et les mesures géométriques:

Soit  $\Delta L$  la différence des longitudes héliocentriques de T et V

$$\Delta L = L_V - L_T$$

Alors:

$$R' = \sqrt{R_V^2 + R_T^2 - 2 \cdot R_T \cdot R_V \cdot \cos(\Delta L)}$$

$$\sin S = -\frac{R_V \cdot \sin(\Delta L)}{R'} \quad \text{et} \quad \cos S = \frac{R_T - R_V \cdot \cos(\Delta L)}{R'}$$

Ici, le calcul donne:

$$S = -19,76 \quad \text{et} \quad R' = 1,581 \text{ UA}$$

### 9. Visibilité de la planète.

La Terre tournant sur elle-même en 24 h de 360°, un angle de  $S = 19,5$  sera parcouru en  $\frac{24}{360} \times 19,5 = 1,3$ h, soit 1h;18mn environ.

Ici, S est négatif (origine en ST). Donc, compte-tenu du sens de rotation de la Terre, Vénus apparaîtra dans le ciel avec 1,3 heure d'avance sur le Soleil: Vénus se lèvera 1,3h avant le Soleil, et se couchera également 1,3h avant lui.

(Remplacer "avance" par "retard" si S est positif).

Le calendrier des PTT donne, pour le 1er avril, à Paris, et pour le Soleil: lever à 5h 31mn et coucher à 18h 19mn TU (à 1mn près d'une année sur l'autre donc le calendrier de 1984 n'est pas indispensable).

En retirant 1,3 h à ces valeurs, on obtient pour Vénus, à Paris, le 1/4/84 : lever à 4h 13mn et coucher à 17h 01mn.

La planète sera donc visible le matin seulement, avant le lever du Soleil, vers l'Est bien sûr.

### 10. Validité du modèle.

La précision angulaire attendue est de l'ordre de 0,5 degré, entre les années 1950 et 2000. (au moins). Comparons ces résultats à ceux calculés avec un modèle plus complexe (et plus complet) ou mieux, avec les Ephémérides du Bureau des Longitudes :

Le 1/4/1984 à 0h TU:

Terre	modèle	"exact"	Vénus	modèle	"exact"
L.hélio	191°,3	191°,460	L.hélio	323°,7	323°,701
R.hélio	0,999	0,9994	R.hélio	0,725	0,728
			latitude géo	0°	-1°,439
			R' géo	1,581	1,583
			S	-19°,76	-19°,884
			(Paris) lever	4.13	5.03
			(TU) coucher	17.01	16.25

La précision angulaire est "correcte", de même que sur les distances. Par contre, on n'obtient pas mieux qu'à une heure près les instants de lever et coucher. Ceci est dû (en partie) au fait que, dans ce modèle, les orbites ne sont pas inclinées sur l'écliptique, donc que l'on néglige la latitude céleste géocentrique.

Considérons (fig.2) le Soleil et Vénus vers leur lever à l'horizon.

Vénus se lève en  $V_0$  et le Soleil est alors en  $S_0$ .

Si la latitude de Vénus ( $b$  ici) était nulle, Vénus serait en  $S_2$ , donc déjà levée. On doit donc corriger les heures de ce modèle de l'écart correspondant à la durée du passage de  $S_1$  en  $S_2$ . Cet écart est d'autant plus grand que la latitude est grande.

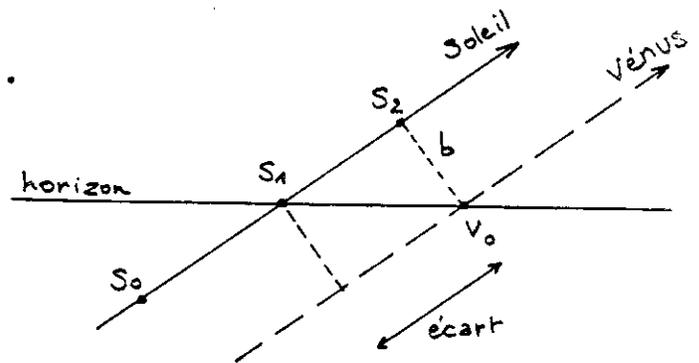


fig.2

Le calcul de la latitude géocentrique n'est pas très simple. L'introduire dans ce modèle n'est pas intéressant car alors on se rapproche de la complexité du modèle "keplerien", lequel nécessite un petit ordinateur, ou au moins une calculatrice programmable performante.

Cependant, le calcul des heures de lever et coucher doit faire intervenir les coordonnées équatoriales et le Temps Sidéral local. La détermination par l'élongation ne peut que donner un ordre de grandeur de ces instants. D'ailleurs la valeur "exacte" de  $S = -19°,884$  ne donnerait guère mieux !

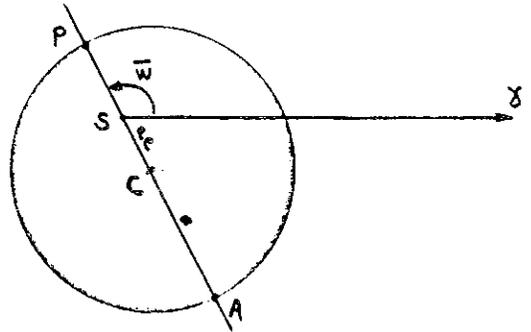
### 11. Conclusion.

Ce modèle géométrique simple donne des résultats très satisfaisants pour utiliser un planétaire et pour prévoir la visibilité des planètes, et ce bien mieux que le modèle dit "de Copernic" à cercles concentriques.

12. Construction du système planétaire.

Dans ce modèle, les orbites sont des cercles excentrés, tous situés dans le plan écliptique. Le rayon du cercle est désigné par  $a$  (en UA). Reste à situer le centre  $C$  du cercle orbital.

Le périhélie  $P$  est tel que sa longitude céleste (à partir de la direction  $S\gamma$ ) est  $\bar{w}$ . La distance du centre au Soleil est alors  $a.e$  et le point  $C$  est opposé à  $P$  par rapport à  $S$ .



Dans la réalité, d'une part les orbites sont des ellipses et non des cercles, et d'autre part, ces ellipses sont diversement inclinées sur le plan de l'écliptique. Cependant, sauf pour Pluton et Mercure, l'inclinaison  $i$  ne dépasse pas  $3^{\circ},4$ . Le dessin en projection sera donc proche de la réalité. L'écart relatif du cercle à l'ellipse de même diamètre est au maximum  $1 - \sqrt{1 - e^2}$ , dans la direction perpendiculaire au diamètre PSCA. Pour Mercure,  $e=0,205$  et cet écart relatif vaut  $0,021$  (soit  $2,1\%$ ): avec un rayon de  $10$  cm, l'écart vaut  $2$  mm. Pour la Terre, avec un rayon de  $1$  m, l'écart est inférieur à  $0,15$  millimètre ! donc en général contenu dans l'épaisseur du trait...

Le tableau ci-dessous fournit les valeurs utiles pour la construction (à la règle et au compas) du modèle planétaire.

Planètes	$a(\text{UA})$	$e$	$a.e(\text{UA})$	$\bar{w}$	$1 - \sqrt{1 - e^2}$	$i$
Mercure	0,39	0,205	0,080	$77^{\circ},2$	0,021	$7^{\circ},0$
Vénus	0,72	0,007	0,005	$131^{\circ},3$	0,00002	$3^{\circ},4$
Terre	1,00	0,016	0,016	$102^{\circ},6$	0,00013	$0^{\circ}$
Mars	1,52	0,093	0,141	$335^{\circ},7$	0,0043	$1^{\circ},9$
Jupiter	5,20	0,048	0,250	$15^{\circ},2$	0,0012	$1^{\circ},3$
Saturne	9,50	0,055	0,523	$93^{\circ},7$	0,0015	$2^{\circ},5$
Uranus	19,2	0,047	0,902	$170^{\circ},4$	0,0011	$0^{\circ},8$
Neptune	30,1	0,009	0,271	$44^{\circ},4$	0,00004	$1^{\circ},8$
Pluton	39,4	0,250	9,850	$224^{\circ},5$	0,032	$17^{\circ},2$

Lors de la construction du système, le terme cercles "excentrés" prendra tout son sens...

### 13. Remarque: le modèle de Copernic.

Le modèle planétaire (très simplifié) utilisant des orbites circulaires parcourues d'un mouvement uniforme, appelé "1er modèle de Copernic", se déduit de celui-ci en faisant  $e=0$  et  $k=0$  pour toutes les planètes, et sans rien ôter de la très grande valeur épistémologique du "système" copernicien.

On a alors une idée des écarts importants que donne ce dernier: jusqu'à  $24^\circ$  pour Mercure ou  $11^\circ$  pour Mars.

Ces écarts, nettement visibles, ont obligé Copernic à réintroduire des épicycles, comme Ptolémée, faisant perdre à son "système" une grande partie de sa "beauté".

Kepler trouvera la solution grâce à l'abandon du cercle pour l'ellipse (1609), préparant la voie à Newton.

### 14. Graphique annuel d'élongations.

Le modèle simplifié proposé ici permet facilement de tracer le tableau-graphique que l'on trouve, par exemple dans les "Ephémérides" de l'année, ou dans l'excellent livre de A.RUKL "Astronomie, Guide de l'Amateur" (Ed. Gründ).

On porte l'angle  $S$  en abscisses et la date en ordonnées (fig.3).

La ligne centrale ( $S=0^\circ$ ) représente le Soleil. Les courbes de chacune des planètes donnent par lecture directe la valeur de l'élongation écliptique à une date donnée.

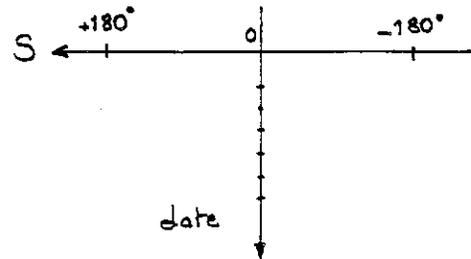


fig.3

Si  $S$  est compris entre  $0^\circ$  et  $+180^\circ$ , la planète sera visible après le coucher du Soleil. Si  $S$  est compris entre  $-180^\circ$  et  $0^\circ$ , elle sera en avance sur le Soleil, donc visible le matin. Si  $S = \pm 180^\circ$ , la planète est en opposition: elle culmine au méridien vers minuit (0h TU).

Si  $S$  est compris entre  $-10^\circ$  et  $+10^\circ$ , la planète est pratiquement dans la direction du Soleil, donc inobservable à l'oeil nu.

Afin de se simplifier encore la tâche, on aura intérêt à utiliser une calculatrice programmable, ou un petit ordinateur.

On trouvera en Annexes:

-un exemple de programme écrit en langage BASIC, facilement adaptable à n'importe quel appareil. Ici, les fonctions trigonométriques opèrent avec des angles exprimés en radians.

-le graphique d'élongations pour 1984 pour les 5 planètes visibles à l'oeil nu. La courbe d'Uranus a été ajoutée, ainsi que celle du point vernal, et celle de la Lune.

```

5 Print " MODELE PLANETAIRE SIMPLIFIE "
Date
10 Input " DATE (JM.A) "; C
12 S=1E4*(C-Int(C)) : J=Int(C/100) : M=Int(C)-100*J
14 If M<=2 Then S=S-1 : M=M+12
16 N=Int(365.25*S) + Int(30.6*(M+1)) + J - 724354
18 T=N/36525
Terre
30 M=357.4:W=360:K=1.9:P=102.6:A=1:E=0.017
32 Gosub (120) : Ø=L : Z=R
34 Print " TERRE L=";L ;" R=";R
38 Input " Numéro de la planète (1à6) ";J : { H=30+10*J : Goto (H)
Planète
40 Q$="ME":M=323.4+1494.72*T: M=M-360*Int(M/360)
42 K=23.5+6*Cos(M*G):W=0:P=77.2:A=0.39:E=0.205 : Goto (95)
50 Q$="VE":M=182:W=585.18:K=0.8:P=131.3:A=0.72:E=0.007: Goto (95)
60 Goto (34)
70 Q$="MAR":M=5.5:W=191.4:K=10.7:P=335.7:A=1.52:E=0.093: Goto (95)
80 Q$="JUP":M=223.1:W=30.35:K=5.5:P=15.2:A=5.2:E=0.048 :Goto (95)
90 Q$="SAT":M=108.3:W=12.22:K=6.4:P=93.7:A=9;5:E=0.055
95 Gosub (120)

100 Print Q$ ;" L.hélio=";L ;"R=";R
Elong.:
102 U=L-Ø : Y=SQR(R*R+Z*Z-2*Z*R*Cos(U*G))
104 S=-R*Sin(U*G)/Y : S=ATN(S/SQR(1-S*S))/G
108 Print Q$ ;" Elong. =";S ;" R géo=";Y
110 Goto (10)
S.Pgm
120 M=M+W*T : M=M-360*Int(M/360) : G=3.141593/180
122 V=M+K*Sin(M*G) : L=V+P : L=L-360*Int(L/360)
124 R=A*(1-E*Cos(M*G))
126 Return

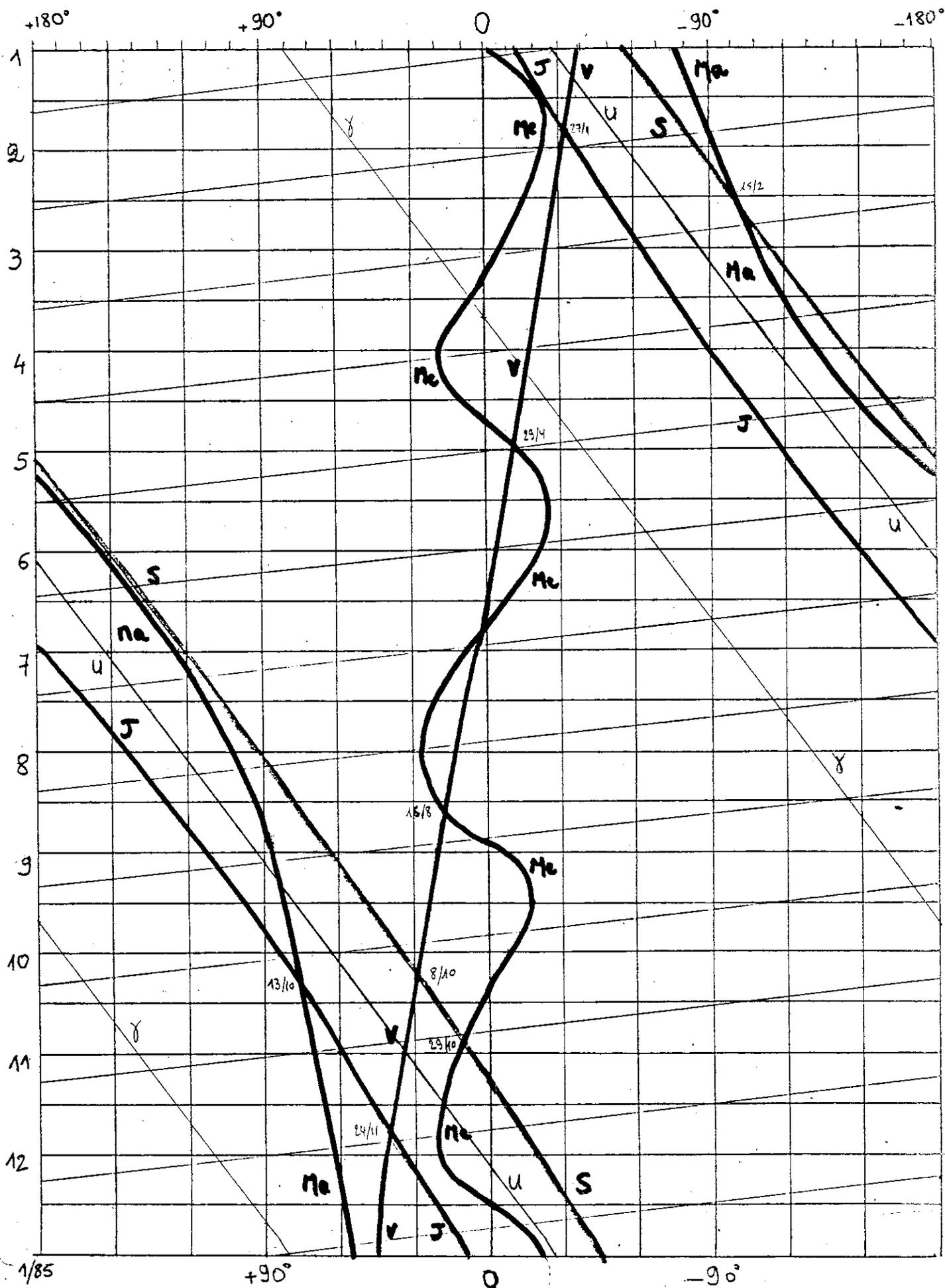
```

Contrôle: le 1er Janvier 1984  
DATE ? 101.1984

Planètes	ME(1)	VE(2)	TER(3)	MAR(4)	JUP(5)	SAT(6)
L.hel	104.37	178.662	99.659	169.382	263.358	219.725
R.hel	0.314	0.717	0.983	1.655	5.271	9.765
Elong.	-1.512	-39.730	-	-75.232	-13.759	-55.193
R.géo	0.670	1.100	-	1.606	6.221	10.293

Remarques:

- Les nombres entourés correspondent à des adresses (lignes)
- Le calcul de N utilise ici un algorithme classique. La constante 724354 dépend de l'origine choisie (ici 1/1/1983). Les dates utilisables sont comprises entre le 1/3/1900 et le 28/ 2/2100. Noter la forme d'introduction de la date : JJMM.AAAA
- Les coordonnées de la Terre sont d'abord calculées, puis gardées dans les mémoires Ø et Z
- Le cas de Mercure est différent des autres, car K dépend de M
- Pour le contrôle, les valeurs sont données avec 3 chiffres décimaux pour les angles et pour les distances (en UA). Ne garder par la suite que 1 seul chiffre.
- Le programme n'a pas été optimisé de façon à en avoir une lecture claire.



PLANETES 1984

La courbe de la Lune peut se tracer facilement: la Nouvelle-Lune correspond à  $S=0^\circ$ , le Premier-Quartier à  $S=90^\circ$ , la Pleine-Lune à l'opposition  $S=\pm 180^\circ$ , et le Dernier-Quartier à  $S=-90^\circ$ .

Les dates des phases lunaires figurent sur tous les "bons" calendriers de l'année.

A l'échelle du graphique, la "courbe" de la Lune est une série de segments de droite. La prévision des dates de conjonction entre Lune et planètes, ou entre planètes, est simple: ces dates correspondent aux intersections des courbes  $S$ . Il est à noter cependant qu'il s'agit ici des conjonctions en coordonnées écliptiques, alors que les "Ephémérides" indiquent celles en coordonnées équatoriales, très légèrement différentes. En effet (fig.4),

sur une carte du ciel en coordonnées  $(\alpha, \delta)$ , la trajectoire apparente du Soleil (écliptique) est une sinusoïde. Considérons un astre (A) et une planète se déplaçant sur (ou parallèlement à) l'écliptique. La conjonction équatoriale se produit quand la planète est en  $P_1$  et la conjonction écliptique a lieu en  $P_2$ . L'écart  $P_1P_2$  est nul vers les solstices d'été ou d'hiver.

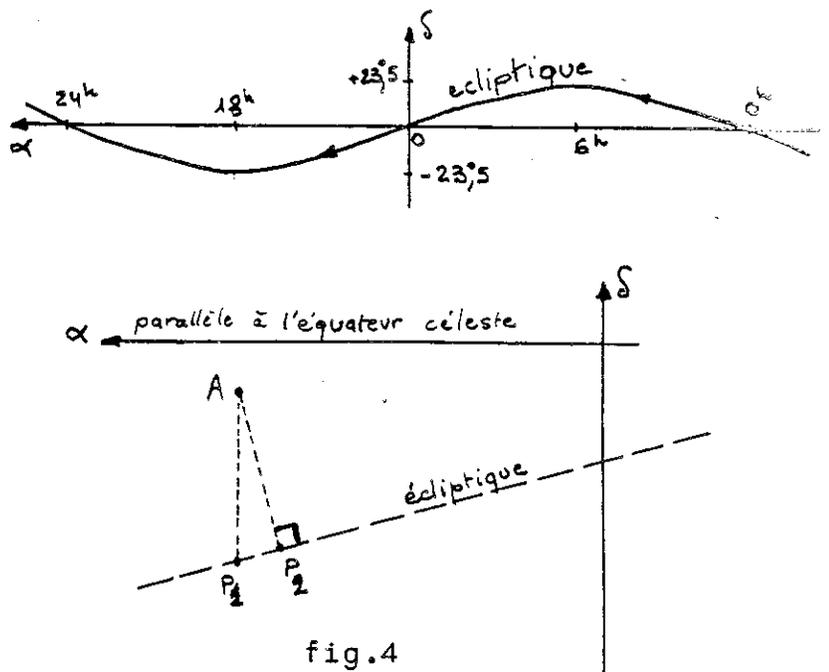


fig.4

Michel TOULMONDE

Professeur Ecole Normale Etienne

UN (NOUVEAU) FOURNISSEUR DE DIAPPOSITIVES ASTRONOMIQUES ET D'OUVRAGES  
D'ASTRONOMIE EN LANGUE ANGLAISE

WORLD DATA (BP 68 75060 PARIS 02; tel:(1) 508 85 66) permet de se procurer en France, rapidement, des ouvrages et documents originaux en langue anglaise. Des listes périodiques, envoyées gratuitement sur simple demande, signalent les nouveautés parues dans divers domaines, en particulier celui des "sciences de la Terre et de l'Espace" (série 100). Cette liste, en langue française, donne de chaque ouvrage une description, un commentaire et le prix.

La liste N°113 propose 18 séries de diapositives astronomiques éditées aux États-Unis et importées (148 f. la série de 20, franco de port): La Terre vue de l'Espace; Le visage de la Lune; Apollo 11, les premiers hommes sur la Lune; Les planètes vues de l'espace; Viking sur Mars; Jupiter vu par Voyager; Saturne vu par Voyager; Galaxies. Les diapositives sont de qualité; malheureusement, elles ne sont accompagnées d'aucun document explicatif.

Lecture de Kepler (2)

Poursuivons la lecture de la "Conversation avec le messager céleste", cette confrontation amicale entre deux savants de tempéraments très différents, voire opposés à bien des égards, mais animés l'un et l'autre par un même amour de la science. Kepler a donc commencé par s'émerveiller sur l'invention de la lunette, non sans rappeler que dans son optique, les "Compléments à Vitellion" (que nous noterons CV), qui datent de 1604, il a donné les moyens d'en comprendre le fonctionnement. Nous savons bien l'étroite liaison entre progrès théoriques de l'optique et progrès de l'astronomie.

N'oublions pas que cette lettre, cette "Conversation" (notée ici CMC) fut écrite entre le 13 et le 19 avril 1610. Rappel essentiel car beaucoup de remarques nous surprendront par leur naïveté. "Comment Kepler a-t-il pu croire des choses pareilles!" aurions-nous tendance à nous dire. Il faut faire l'effort de se mettre à la place d'un homme du XVII<sup>ème</sup> siècle qui lirait cette CMC pour la première fois... et qui ignorerait, bien sûr, plusieurs siècles de découvertes qui ont suivi. Telle est la leçon de l'histoire des sciences, retrouver la naïveté des anciens chercheurs, reconstruire la recherche astronomique dans toute sa fraîcheur. Condition requise pour apprécier la partie V de la "Conversation" où il va être question de la Lune.

Le terminateur L'observation de la Lune occupe une place importante dans de "Sidereus Nuncius" (SN) de Galilée. Ce qui ne surprendra aucun amateur d'astronomie récent acquéreur d'un télescope, c'est le premier spectacle qu'il s'offre, c'est la première série de découvertes que Galilée présente.

Lorsque la Lune est en croissant, l'observation du terminateur, de la ligne qui sépare la partie éclairée de la partie sombre, est riche d'enseignements. Kepler, dans CV, avait prévu que le terminateur aurait exactement la forme d'une demi ellipse, la projection d'un demi cercle. Or, Galilée a noté des irrégularités et il les interprète comme l'éclairage progressif du sol accidenté par le Soleil. Au lever du Soleil, les cimes des Apennins sont éclairées bien avant que les vallées reçoivent la lumière du Soleil, il en est de même sur la Lune dont le relief est ainsi mis en évidence. Ainsi s'exprime Galilée qui consacre à la question plusieurs pages du Sidereus et plusieurs dessins. Kepler approuve mais semble beaucoup plus intéressé par les taches du disque lunaire.

Les taches de la Lune Galilée distingue ce qu'il appelle les grandes et anciennes taches, déjà signalées par les anciens, des petites taches, des détails que la lunette lui a permis de découvrir (n'oublions pas que cette lunette grossissait douze fois et n'était pas exempte d'importantes aberrations chromatiques). C'est l'interprétation de ces anciennes taches qui retient l'attention de Kepler.

Il se trouvait en opposition sur la question avec Plutarque. Pour celui-ci, les parties sombres représentaient des lacs ou

des mers ; dans ses CV, Kepler proposait l'interprétation inverse, les "mers" selon lui, devant mieux diffuser ou réfléchir la lumière que les "continents". J'écris ici mers et continents entre guillemets, mais ni Kepler ni Galilée ne prennent cette précaution ; pour eux, il y a de telles ressemblances entre la Terre et la Lune que l'interprétation est assurée, celle de Plutarque à laquelle Kepler se rallie puisque l'observation du terminateur a mis en évidence le relief.

Pour les petites taches, Kepler est circonspect. L'abondance des cirques le préoccupe. Considérant que sur la Lune la durée d'insolation est presque quinze de nos jours, il imagine que pour les habitants la chaleur est insupportable ; ils auraient donc construit de grands bâtiments entourant des régions plates où l'humidité serait mieux retenue pour leurs cultures et leurs pâturages placés ainsi à proximité de leurs résidences.

On est évidemment surpris par cette fringale imaginative. Car, même en 1610, il y avait de l'audace à supposer qu'un grand cirque comme Copernicus pouvait être la réalisation architecturale d'habitants supposés. La plus grande des pyramides d'Egypte ne représente qu'un petit tertre par rapport aux murailles de Copernicus. Mais l'imagination de Kepler est intarissable, il a encore une autre idée pour expliquer les plus petits cirques, le sol de la Lune a l'aspect de la pierre ponce, matériau de faible densité et, justement, Kepler déduit de la vitesse de la Lune sur son orbite qu'elle est peu massive.

Ceci mérite une explication et nous amène à ouvrir une parenthèse dans la lecture de la "Conversation". Dans ses remarques sur le mouvement de Mars, publiées en 1606, Kepler a déjà présenté ses idées sur la cause du mouvement des planètes. Idées qu'il reprend dans son "Astronomie nouvelle" (1609), III<sup>ème</sup> partie, chapitre XXXIV intitulé "Le corps du Soleil est magnétique et est dirigé dans son champ de course"; en bref, c'est la rotation du Soleil sur lui-même qui entraîne le mouvement des planètes autour de lui (et n'oublions pas qu'en écrivant cela, Kepler ne s'appuyait sur aucune observation attestant cette rotation du Soleil sur lui-même). Relisons-le :

"En outre cette opinion au sujet de la révolution du corps solaire (à savoir que celle-ci est la cause du mouvement des autres planètes) est confirmée par ce très bel exemple même de la Terre et de la Lune. En effet, parce que le mouvement principal et mensuel de la Lune, par la force des démonstrations employées aux chap. XXXII et XXXIII, est entièrement à partie de la Terre comme d'une source (en effet, parce que le Soleil est ici au reste des planètes comme la Terre est là pour la Lune dans cette démonstration), considère donc comment notre Terre apporte le mouvement à la Lune. C'est à dire, elle est emportée en roulant vingt neuf fois et demie autour de son axe, en même temps que notre Terre et avec elle son apparence immatérielle : cette apparence peut être à ce point jetée sur la Lune, afin que pendant ce temps elle la pousse une fois sur l'orbe, certes dans la même région où la Terre elle-même la précède.

Mais pendant ce temps, il est étonnant que le centre de la Lune parcourre une ligne plus longue du double, autour du centre de la Terre, dans le temps que l'on veut que quelque lieu placé

au-dessous, sur la surface de la Terre, sur le cercle équatorial. Si, en effet, des espaces égaux étaient parcourus dans des temps égaux, il eut fallu que la Lune fut rétablie le soixantième jour, puisque la grandeur de son orbe est soixante fois plus grande que celle du globe terrestre.

Apparemment, une aussi grande force est à l'apparence immatérielle de la Terre, sans doute une grande légèreté et une faible opposition du corps lunaire..." (Astronomie nouvelle, traduction Peyrard, éd Blanchard, p.223)

Nous admirerons la simplicité avec laquelle Kepler montre que la vitesse de la Lune sur son orbite est environ le double de la vitesse de rotation d'un point de l'équateur terrestre. Cinématiquement, Kepler voit juste. Dynamiquement c'est une autre affaire ; de sa vitesse tirer une conclusion sur sa densité nous surprendrait si nous ne savions pas qu'en 1610 Newton n'est pas encore né.

Le limbe Galilée a été surpris d'observer le limbe éclairé de la Lune tout à fait circulaire alors qu'il venait de découvrir, par les ombres au voisinage du terminateur, l'importance du relief lunaire. Kepler approuve la double explication qu'il en donne et qu'il commente.

La première est appuyée sur une judicieuse comparaison. Lorsque la mer est impétueuse, pour un observateur placé sur le rivage les crêtes des vagues semblent toutes sur un même plan alors que pour un marin, dans sa barque soumise aux mouvements de la mer, il est très évident qu'entre les crêtes des vagues il y a des creux. De même, pour l'observateur terrestre, les montagnes de la Lune, sur le limbe, dessinent une ligne circulaire et les creux, les vallées n'apparaissent pas.

La seconde explication est plus surprenante. Kepler imagine que la Lune est enveloppée d'une manière transparente plus dense que l'air. Il appuie cette hypothèse sur une observation de son maître Mästlin qui, lors d'une éclipse de Lune observée depuis Tübingen en 1606 a vu une tache sombre sur le disque rougeâtre de la Lune éclipse ; et Mästlin interprétait cette tache comme provenant d'un gros nuage de pluie sur la Lune.

Kepler ne dit rien, c'est assez surprenant, de l'observation de ce qu'on appelle aujourd'hui les "grains de Baily" : lors d'une éclipse annulaire de Soleil, le disque lunaire paraît effectivement moins exactement circulaire que le disait Kepler et des vallées lunaires laissent passer des "jours" de lumière, les grains de Bailey. On trouve, à la page 144 de l'édition 1955 de l'Astronomie populaire Flammarion deux superbes photos des deux éclipses "perlées" photographiées à deux saros d'intervalle les 19120417 et 19480509. Je disais "jours", Flammarion dit mieux "perles", ou "grains". Mais Kepler ne dit rien. Peut-être n'a-t-il jamais observé d'éclipse annulaire.

Quant à l'hypothèse de l'atmosphère lunaire, elle ressortit à des idées que Mästlin avait trouvées dans les commentaires d'Aristote par Averroès ce qui peut être à l'origine d'une contre sens : pour Aristote, la Lune est une sorte de Soleil en second, un soleil de moindre qualité puisque de moindre éclat ; pour Averroès au contraire, la Lune est un double de la Terre. Mästlin et Kepler à sa suite retiennent cette dernière interprétation

tout en l'attribuant à Aristote ; et cela leur permet d'admettre facilement l'hypothèse d'une atmosphère lunaire.

Cependant Kepler ne s'appuie pas sur l'existence de cette atmosphère pour justifier le fait que le diamètre de la partie éclairée de la Lune paraisse plus grand que celui de la partie sombre. C'est bien visible avant le premier quartier. Non, c'est une illusion optique, dit Kepler, relisez mes CV, p.217 :

"Nous devons prendre garde à cette particularité de la vision qu'une chose brillante paraît proportionnellement plus grosse que la même chose si elle était moins brillante. Ainsi, dans la première ou la dernière phase de la Lune, la corne brillante semble limitée par un cercle plus grand que le reste du corps éclairé par la lumière de la Terre et rendu ainsi clairement visible. Le même fait fut vérifié durant l'éclipse du 15/25 mai 1603 car certains observateurs purent voir le limbe de la partie dans l'ombre qui paraissait beaucoup plus petit que le cercle limitant la partie éclairée." (\*)

En passant, Kepler fait remarquer que l'explication de la "lumière cendrée" donnée par Galilée dans le Sidereus, - un clair de Terre sur la Lune -, avait été donnée par Mästlin au moins vingt ans plus tôt. Ce qui ne nous étonne pas puisque, selon Flammarion, l'explication avait été donnée bien avant par Léonard de Vinci.

o o

Pour cette fois, j'interromps ici cette lecture de la "Conversation". Tout ce qui concerne la Lune y représente dix pages imprimées. Il reste seize pages plus passionnantes sur l'observation des étoiles et la découverte des satellites de Jupiter. Si cela ne vous lasse pas trop, nous les relirons une prochaine fois.

#### K.Mizar

(\*) Kepler donne deux dates pour l'éclipse de mai 1603, l'une dans le calendrier julien, l'autre dans le grégorien. La réforme, selon les pays est en cours...

(\*\*) Dans les indications bibliographiques données dans la première partie de cette lecture (CC n°23, p10), j'ai omis de signaler un ouvrage essentiel et très accessible :  
Quatrième centenaire de la naissance de Johannes Kepler  
colloque organisé par la SAF et le Centre Alexandre Koyré.  
Il reproduit les exposés de B.Morando, R.Taton, J.Kovalevsky, G.Simon, A.Hayli, P.Costable, J.Lévy, P.Russo et J-C.Pecker.  
Une lecture de base pour toute étude de Kepler. Je suis reconnaissant à une lectrice attentive des Cahiers Clairaut, Mademoiselle S.Débarbat, de m'avoir signalé cette regrettable omission.

Mars 1684

Il y a donc trois cents ans. Jean-Dominique Cassini découvre deux nouveaux satellites de Saturne, Téthys et Dioné dont les révolutions sont respectivement de un jour 21 heures et 18 minutes et deux jours 17 heures 41 minutes. Depuis 1655 et grâce à Huygens, on connaît Titan et les anneaux ; en 1671 Cassini a découvert Japet et Rhéa en 1672. La découverte de deux satellites plus proches des anneaux en 1684 témoigne à la fois de l'habileté de Cassini et du progrès des instruments.

## L'ASTRONOMIE DANS LE CALENDRIER DES PTT

### II - Le mouvement de la Terre autour du Soleil par le calendrier

Le mouvement de la Terre autour du Soleil impose à la vie terrestre un rythme qui se traduit par le cycle saisonnier de la végétation et par les modifications de la météo. L'année, qui caractérise le retour des saisons, est assez difficile à estimer, car elle n'est pas accompagnée d'un phénomène frappant, comme les phases de la Lune par exemple. Ainsi les égyptiens vécurent pendant longtemps avec des années de 360 jours.

L'astronomie définit de nombreuses années (sidérale, tropique, des saisons, anomalistique, des éphémérides etc...), mais celle qui concerne le calendrier est l'année des saisons; et la valeur moyenne de l'année des saisons (pourquoi voudriez-vous qu'elle soit constante ?) porte le nom d'année tropique.

Dans un BON calendrier, la durée moyenne de l'année civile doit être aussi proche que possible de l'année tropique. Notre calendrier actuel a été défini après plusieurs réajustements pour tenter de ramener le retour des saisons aux mêmes dates.

#### 1°) Estimation de l'année tropique avec le calendrier actuel.

Avant Jules César, dans l'empire romain, le calendrier comptait un nombre entier de lunaisons, et dans le calendrier lunaire les saisons ne se reproduisent pas aux mêmes dates. Jules César, ou plutôt son conseiller Sosigène, astronome grec, proposa que le calendrier ne tienne plus compte de la Lune, et qu'il s'ajuste le mieux possible au retour des saisons, devenu ainsi calendrier solaire.

A cette époque, la longueur de l'année des saisons n'était pas connue avec beaucoup de précisions, et la valeur adoptée fut de 365,25 jours. Il fut donc décidé que tous les 4 ans, l'année aurait 366 jours. On espérait ainsi que l'équinoxe de printemps aurait alors lieu à date fixe, soit le 25 mars. Le calendrier julien fut utilisé à partir du 1er janvier 45 avant JC (tiens! 1er janvier; n'oublions pas cependant que l'année commençait alors en mars).

De nombreuses fêtes païennes puis religieuses ont conservé l'empreinte du calendrier julien, en effet de nombreuses fêtes ont lieu le 25 ou presque: Noël le 25 décembre, la Saint Jean le 24 juin, l'Annonciation, le 25 mars...

En 325 après JC, quand le concile de Nicée se réunit pour fixer la règle permettant de déterminer la date de Pâques, l'équinoxe de printemps a lieu le 21 mars, en avance sur le calendrier. Le calendrier julien n'a pas rempli son rôle, la valeur de l'année tropique n'est pas exactement de 365,25 jours...

Les estimations de la valeur de l'année tropique deviennent plus précises au cours des siècles, et au XVIème siècle, alors que le décalage du calendrier julien a atteint 11 jours depuis le concile de Nicée, a lieu la réforme grégorienne. Le calendrier grégorien représente en fait une amélioration de détail sur le calendrier précédent. Il comporte toujours des années communes et des années bissextiles (dont le numéro est divisible par 4) mais il y a exception pour les années séculaires. Une année séculaire (comportant un nombre entier de siècles) ne sera bissextile que si le nombre de siècles est divisible par 4. Ainsi, 1800, 1900, 2100 sont des années communes, mais 1600 et 2000 sont bissextiles.

Il est maintenant facile de calculer la durée moyenne d'une année du calendrier grégorien:

$$365 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400} = 365,2425 \text{ jours}$$

Remarque: l'année tropique est actuellement estimée à 365, 2422 jours, ce qui fait que notre calendrier aura pris un retard de 3 jours dans 10 000 ans !

2°) Evaluation de l'année des saisons.

Entre les printemps 1981 et 1982 qui ont eu lieu le 20 mars 1981 à 17 h 04 et le 20 mars 1982 à 22 h 57 l'intervalle de temps est de 365 j 05 h 53 min soit 365,2451 jours. L'année des saisons est une estimation correcte, sans plus, de l'année tropique. Nous reviendrons sur ce problème par la suite.

3°) Caractéristiques de l'orbite terrestre.

On compte facilement à partir du calendrier que l'hiver dure 89 jours, le printemps 93, l'été 94 et l'automne 90. La différence de durée entre les saisons est due à la nature elliptique de la trajectoire de la Terre autour du soleil. Il est temps de rappeler quelques notions:

a) écliptique:

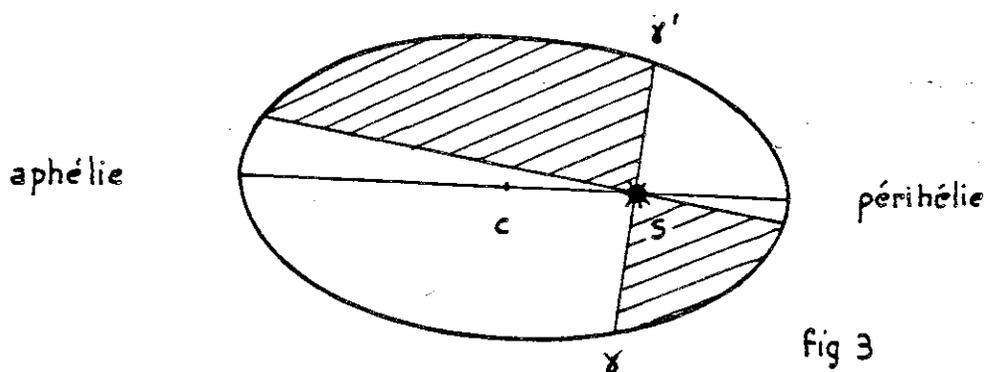
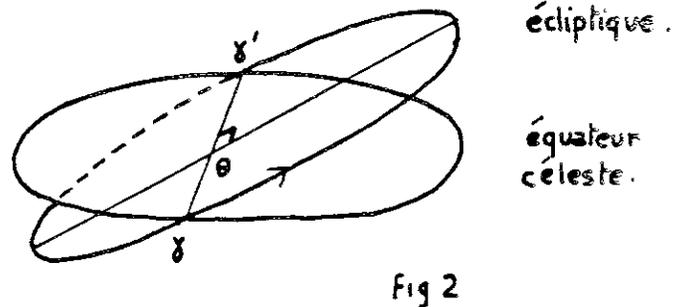
La Terre tourne autour du Soleil, mais il en résulte un mouvement apparent du Soleil sur la sphère céleste. La trajectoire apparente du Soleil dans son mouvement annuel est un grand cercle de la sphère céleste qui traverse les constellations du zodiaque et se nomme écliptique.

b) ligne des noeuds:

A cause de l'inclinaison de l'axe de la Terre par rapport à sa trajectoire, l'équateur céleste est incliné par rapport à l'écliptique; cet angle, noté  $\epsilon$  vaut  $23^{\circ} 27'$ .

L'écliptique et l'équateur céleste se coupent suivant une droite appelée ligne des noeuds. Lorsque le Soleil traverse l'équateur du Sud vers le Nord, le point correspondant s'appelle le noeud ascendant, se note  $\gamma$  et détermine le jour du printemps. Le second point est le noeud descendant; il se note  $\gamma'$  et détermine le jour de l'automne.

c) définition des saisons:



L'orbite de la Terre (ellipse) est divisée en 4 secteurs par:

- la ligne des noeuds qui joint les positions de la Terre au moment du printemps et de l'automne (attention! au printemps, c'est le Soleil qui, vu de la Terre est en  $\gamma$ )
- la perpendiculaire à la ligne des noeuds.

Actuellement, ces directions ne correspondent pas aux axes de symétrie de l'ellipse. Chacun des secteurs ainsi défini correspond à une saison.

d) le mouvement des planètes:

Il est régi par les lois de Kepler:

LOIS DE KEPLER

- les trajectoires sont des ellipses dont le Soleil occupe un foyer.
- les aires balayées par les rayons vecteurs en des intervalles de temps égaux sont égaux, donc la planète se déplace plus rapidement dans le voisinage du périhélie que dans le voisinage de l'aphélie.

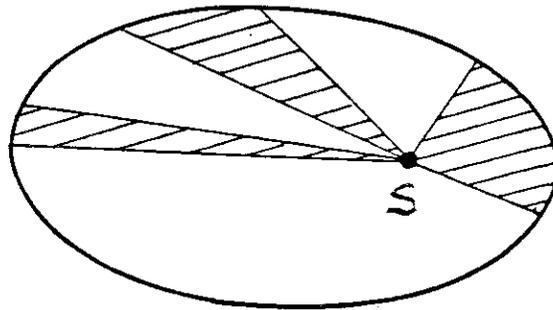


Fig 4

i) Passage au périhélie

Puisque c'est l'hiver la saison la plus courte, c'est à ce moment là que la vitesse de la Terre sur sa trajectoire est maximale; on en déduit que c'est en hiver que la Terre passe au plus près du Soleil. Comme l'automne est plus court que le printemps, le périhélie est franchi pendant la première partie de l'hiver (en fait, premiers jours de janvier)

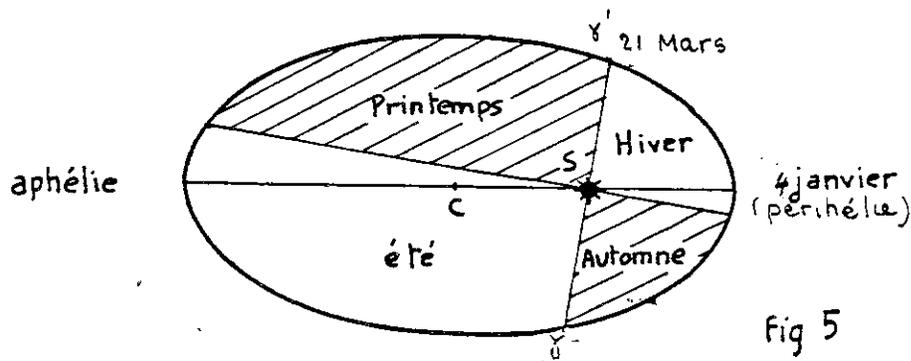


Fig 5

ii) Calcul de l'excentricité de l'orbite terrestre

On assimile les trajectoires de la Terre pour l'été et l'hiver à deux demi cercles de rayon R et r (R > r, car le périhélie est en hiver). Soit a l'aire balayée pendant l'hiver et A celle balayée pendant l'été, t la durée de l'hiver et T celle de l'été:

$$a = \pi r^2/4 \quad \text{et} \quad A = \pi R^2/4$$

L'aire balayée pendant un jour d'hiver est  $\pi r^2/4t$  et celle balayée pendant un jour d'été est  $\pi R^2/4T$ ; la deuxième loi de Kepler annonce l'égalité de ces deux quantités, donc

$$\pi r^2/4t = \pi R^2/4T \quad \text{et} \quad R^2/r^2 = T/t$$

Puisque l'excentricité  $e = c/a$ , on a :

$$R = SA = SC + CA = c + a = a e + a = a (1+e)$$

$$r = SP = CP - SC = a - c = a - a e = a (1-e)$$

$$\text{donc } \pi a^2(1+e)^2 / \pi a^2(1-e)^2 = T/t \quad \text{d'où} \quad (1+e)^2 / (1-e)^2 = T/t = 94/89 = 1,056$$

$$\text{et comme } (1+e)/(1-e) \approx 1+2e; (1+2e)^2 \approx 1+4e = 1,056 \quad \text{d'où} \quad e = 0,014 \quad (\text{au lieu de } 0,016)$$

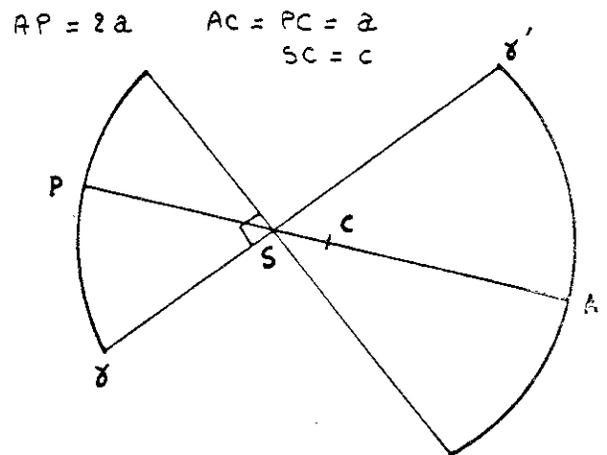


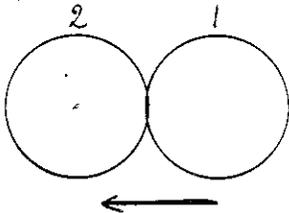
Fig 6

UNE ECLIPSE TRES PARTIELLE

Peu spectaculaire en France, l'éclipse de Soleil du 4 décembre 1983 a néanmoins été très suivie au Mans en raison du beau temps. Et puis c'était un dimanche. Voici un exemple d'exploitation possible des résultats photographiques obtenus.

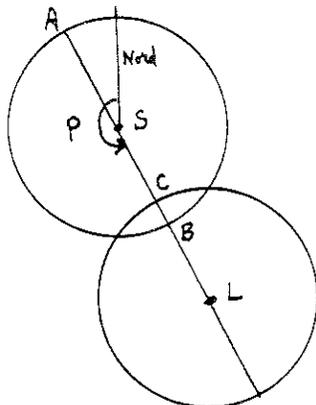
I - MESURE DU DIAMETRE APPARENT DU SOLEIL

Première méthode: un peu avant (ou après) l'éclipse, on chronomètre la durée  $t$  du déplacement apparent de l'image solaire projetée sur un écran avec une lunette ou un télescope. Entre les positions 1 et 2, l'image s'est déplacée de son propre diamètre. Montrer que si  $\theta$  est le diamètre apparent du Soleil en secondes d'arc et  $\delta$  la déclinaison du Soleil ( $-22^{\circ}12'$  le jour de l'éclipse) on a:  
 $\theta = 15 \times t \times \cos \delta$  ( $t$  en secondes)  
 La moyenne de plusieurs mesures a donné:  $t = 140,5$  s



Deuxième méthode: on mesure le diamètre  $D$  de l'image du Soleil sur le cliché n°1. Soit  $G$  le grandissement correspondant. Le négatif de la photo a été obtenu avec un télescope de focale résultante 2,210 m. Montrer que:  
 $\theta = (D/G \times F) \times (180/\pi) \times 3600$  (en ")  
 Pour  $G = 5,5$  et  $F = 2,210$ , calculer  $\theta$  à partir de la mesure de  $D$ .

II- TRAJECTOIRE DE LA LUNE



Le cliché n°1 a été pris à l'instant du maximum de l'éclipse au Mans. A cet instant le rapport des diamètres apparents de la Lune et du Soleil était  $(\theta_L / \theta_S) = 0,951$ . En utilisant le résultat obtenu au I et en prenant un papier calque, tracer les positions de la Lune et du Soleil à cet instant. Le schéma ci-contre définit l'angle  $P$ , appelé angle au pôle. Mesurer  $P$  à l'instant du maximum. Pendant l'éclipse  $P$  change! En utilisant le tableau suivant, tracer la trajectoire du centre de la Lune par rapport au Soleil.

	P	UT
premier contact	220°	11h 32'
dernier contact	178°	12h 38'

Quelle est la nature du mouvement apparent de la Lune? Calculer le déplacement angulaire relatif pendant la durée de l'éclipse.

III- GRANDEUR DE L'ECLIPSE

C'est le rapport  $g = BC/BA$ ; calculer  $g$  à l'instant du maximum. Dans quelle direction géographique aurait-il fallu se placer à cet instant pour que  $g$  soit plus grand?

IV- INSTANT DE PRISE DE VUE DU CLICHE 2

A déterminer à partir du cliché précédent ... en faisant une règle de trois.

V- POUR LES ACHARNES DU MICROORDINATEUR

Il est possible (mais le programme est long) de retrouver les résultats précédents. On calcule les coordonnées équatoriales topocentriques de la Lune pour le lieu d'observation\*.

Pour le Mans, le 4 décembre 1983 voici les résultats:

premier contact	11h 32min	$\alpha = 16h 39min 24s$	$\delta = -22^{\circ} 36' 06''$
maximum	12h 05min	$\alpha = 16h 40min 18s$	$\delta = -22^{\circ} 40' 18''$
dernier contact	12h 38min	$\alpha = 16h 41min 01s$	$\delta = -22^{\circ} 43' 59''$

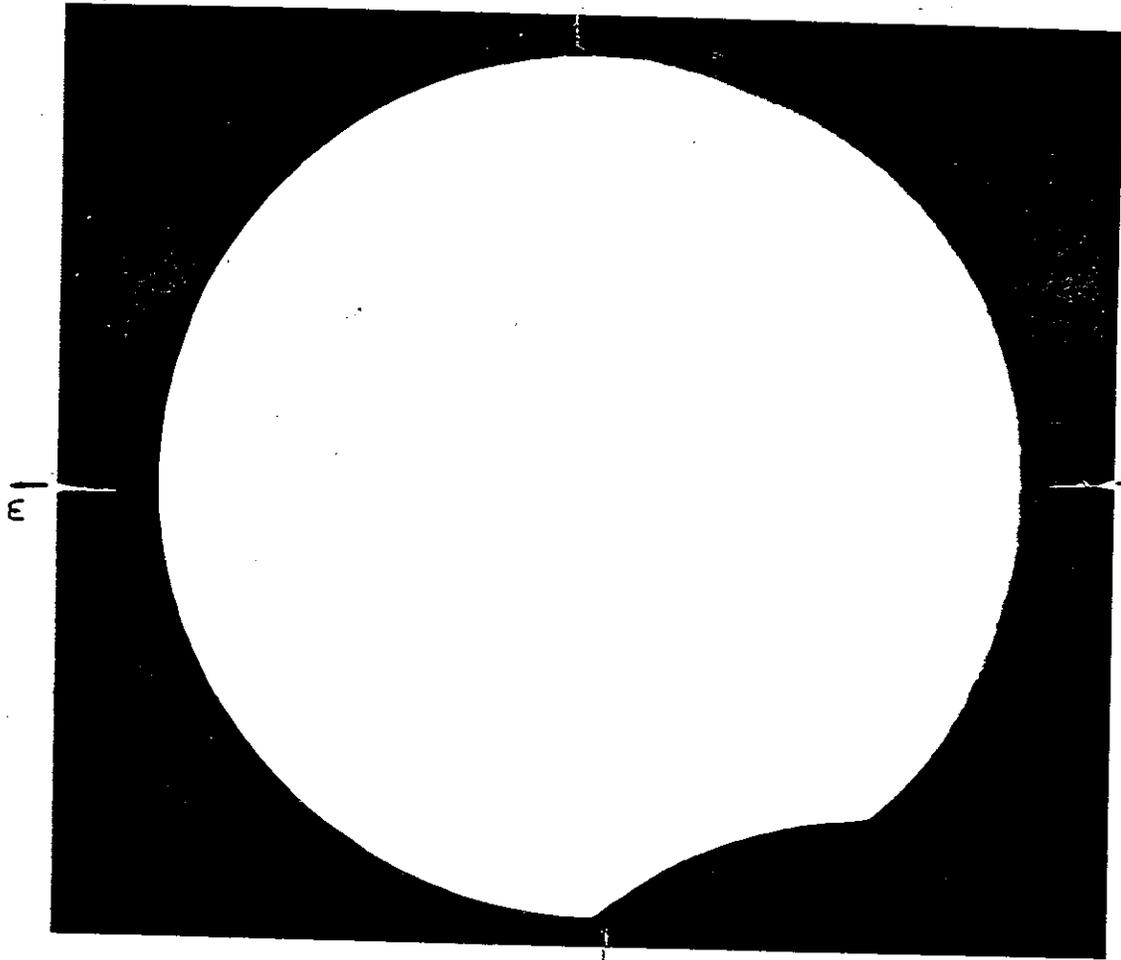
Pour le Soleil, on peut, en première approximation, négliger la correction topocentrique et les variations de  $\alpha$  et  $\delta$  pendant l'éclipse et prendre les valeurs suivantes:

$\alpha = 16h 41min 01s$        $\delta = -22^{\circ} 12' 04''$

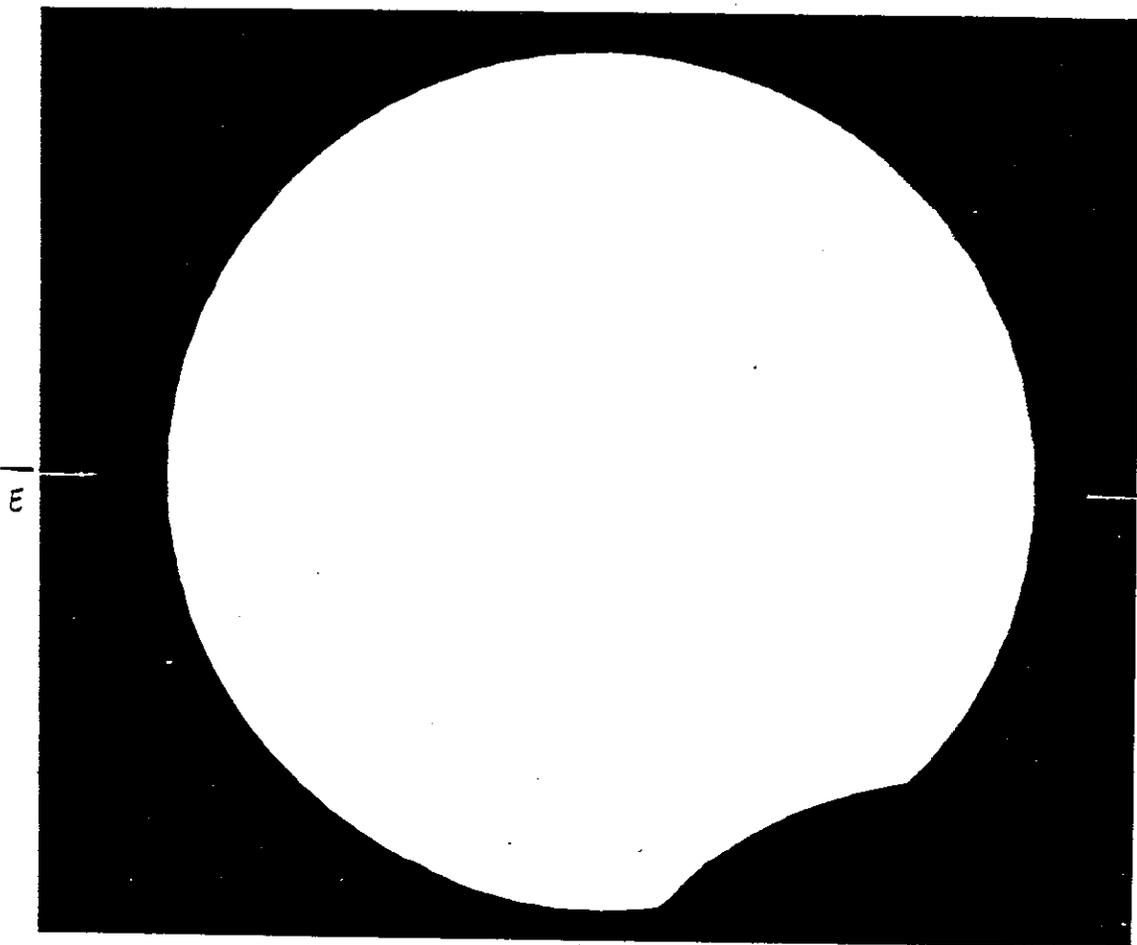
A partir des valeurs précédentes, calculer la distance angulaire  $\theta$  entre le centre de la Lune et le centre du Soleil aux trois instants critiques:

$\cos \theta = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$

\* Bibliographie: Ephémérides 1983 du Bureau des Longitudes; L'Astronomie (nov. 1983) Astronomical formulae for calculators (Jean Meeus); Practical astronomy with your calculator (Peter Duffett Smith)



n°1  
12h 05min UT  
(maximum)



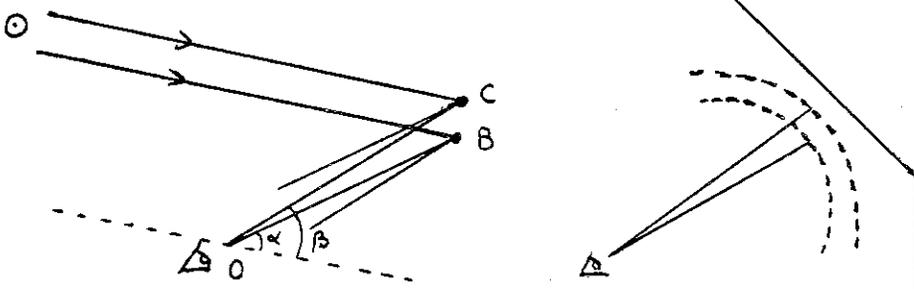
n°2

LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

LE HALO MASSIF DE LA VOIE LACTEE

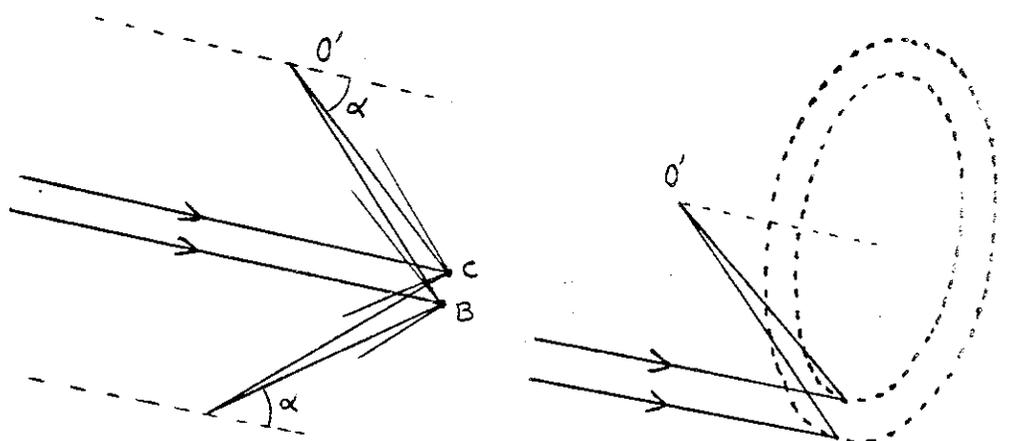
M.R.S. Hawkins, de l'Observatoire Royal d'Edimbourg en Ecosse, vient d'obtenir une preuve directe de l'existence d'un halo massif et invisible entourant la partie visible de notre Galaxie. Ce résultat a été établi à partir de l'analyse de clichés photographiques réalisés au moyen du télescope de Schmidt de 1,2 m de diamètre du Royaume Uni, situé à l'observatoire de Siding-Springs en Australie. Ceci a permis à Hawkins de découvrir des étoiles variables de faible éclat; en particulier l'une d'elles, baptisée R15, a une magnitude apparente B égale à 19,94 et présente les caractéristiques des étoiles variables de type RR Lyrae. Comme les RR Lyrae ont une magnitude absolue moyenne constante connue, il en résulte que R15 est située à une distance de 64 kpc (soit encore environ 210 000 années de lumière) de la Terre. Compte tenu de sa position apparente sur le ciel, R15 est située à 45 kpc (ou 150 000 années de lumière) en dessous du plan du disque galactique et à 59 kpc (192 000 a.l.) du centre galactique. Le rayon du disque galactique étant de 45 000 a.l. environ, R15 est située tout à fait à la périphérie de notre Galaxie. Par ailleurs, Hawkins a également obtenu le spectre de R15 et déduit, à partir de la mesure du décalage Doppler-Fizeau des raies, que R15 se rapproche de nous avec une vitesse  $v$  de 465 km s<sup>-1</sup>. En exprimant simplement que R15 est gravitationnellement liée à notre Galaxie, c'est-à-dire que sa vitesse  $v$  est inférieure à la vitesse d'évasion  $v_e$  donnée par  $v_e = (2GM_G/r)^{1/2}$ , où  $G$  est la constante de la gravitation universelle,  $M_G$  la masse de la galaxie et  $r$  la distance de R15 au centre de la Galaxie, Hawkins trouve une limite inférieure de la masse  $M_G$  telle que  $M_G > 1,4 \times 10^{12}$  masses solaires. Cette limite est environ 10 fois plus grande que la masse de 100 à 200 milliards de masses solaires classiquement admise à partir de l'observation de la masse lumineuse de notre Galaxie, essentiellement répartie dans le disque galactique. Le résultat de Hawkins montre donc que 90% environ de la masse de notre Galaxie serait sous forme non lumineuse et répartie dans le halo entourant le disque galactique. Les astronomes ne savent pas encore sous quelle forme pourrait être cette masse: trous noirs, neutrinos...?

\*\*\*\*\*  
 QUESTION SUR L'ARC-EN-CIEL  
 \*\*\*\*\*



Toutes les gouttes vues de O sous un angle  $\alpha$  enverront des photons bleus dans l'oeil placé en O', d'où l'arc bleu. Toutes les gouttes vues sous l'angle  $\beta$  constitueront l'arc rouge (évidemment, elles seront remplacées par les gouttes suivantes qui tombent).

Mais la goutte B n'envoie pas les photons bleus que dans la direction O, elle les renvoie sur un cône d'axe B-Soleil. Il en est de même pour la goutte C. Donc, depuis O' situé au-dessus des gouttes B et C, il doit être possible de voir un arc-en-ciel et s'il y a une grande hauteur de gouttes on devrait observer un "cercle-en-ciel" ou au moins un arc à l'envers. Mon raisonnement semble correct et je me pose la question suivante: est-ce que quelqu'un a déjà observé un "cercle-en-ciel" ou au moins un arc à l'envers? Il faut être au-dessus des gouttes mais je pense qu'une altitude de 1000 à 2000 m devrait suffire. A l'époque des dirigeables on devait pouvoir être dans de bonnes conditions d'observation.



ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE

III - LE MODELE D'UNIVERS D'EINSTEIN ET LA RUSE DE DE SITTER

Dans l'élaboration de son modèle d'univers, Einstein était guidé par de rigoureuses considérations mathématiques qui l'amenaient à renoncer à l'infini-  
nitude de l'espace et les mêmes équations de la relativité générale, qui lui avaient permis d'expliquer la gravitation comme une propriété géométrique de l'espace, lui permettaient de construire ce modèle d'univers, parachevant ainsi son rêve philosophique d'un espace fini, fermé mais sans borne, dont tous les points sont physiquement équivalents, dont "le centre est partout et la circonférence nulle part".

Notre conception instinctive d'un espace euclidien infini nous empêche d'imaginer commodément l'univers fermé d'Einstein. Nous pouvons cependant en donner une image satisfaisante si nous voulons bien renoncer à concevoir ses trois dimensions habituelles.

Sacrifions délibérément l'une d'elles pour nous représenter les propriétés géométriques de l'univers d'Einstein! Alors l'espace physique n'a plus que deux dimensions; c'est une surface. Avec cette convention, l'univers d'Einstein serait représenté par la surface d'une sphère. Seule cette surface, (cette paroi de la sphère) aurait une existence réelle. L'extérieur ou l'intérieur de la sphère et notamment son centre seraient dépouillés de tout sens physique.

Alors, sur la surface de la sphère, rien ne distingue un point d'un autre. Tous les emplacements sont équivalents pour explorer le monde et si la surface d'une sphère est bien un espace fini, que notre conception tridimensionnelle des choses permet d'englober d'un seul regard, un cheminement à la surface de la sphère ne rencontre pourtant jamais de borne. Ainsi l'image de la surface d'une sphère répondait bien au modèle d'univers voulu par Einstein, fini mais sans borne où "le centre est partout et la circonférence nulle part".

Plus que jamais l'idée de la courbure de l'espace prenait toute sa valeur. La relativité générale expliquait déjà l'attraction apparente qu'une masse semblait exercer sur son voisinage par cette courbure de l'espace. Mais à grande échelle, (les équations étaient là pour le dire) ce n'était plus un rêve de croire que, de masse en masse, de courbure en courbure, l'espace s'incurvait au point de se refermer sur lui-même, et cela à l'image de la surface régulière d'une sphère, parce qu'à grande échelle la répartition de la matière dans l'univers devait être parfaitement uniforme.

Ainsi de même que pendant des millénaires, les hommes avaient cru vivre sur une terre plate, de même le développement de la géométrie euclidienne avait profondément enraciné l'idée que l'espace universel devait être infini et sans courbure et la conception einsteinienne d'un univers courbe et fermé sur lui-même apparaissait en 1917 comme la plus révolutionnaire des idées philosophiques.

Cette image nouvelle du monde traduisait finalement un principe physique fondamental, le principe de Mach, selon lequel la structure géométrique de l'espace était déterminée par la matière de l'univers.

C'est alors que l'un des fidèles collaborateurs et amis d'Einstein, le mathématicien et astronome De Sitter se livra, envers l'auteur de la relativité générale et de la cosmologie naissante à une sorte de ruse où il devait faire exceller sa virtuosité mathématique. Il montra que le modèle d'univers trouvé par Einstein n'était pas le seul compatible avec les équations de la relativité générale. Il en existait un autre, qu'on appela évidemment le modèle de De Sitter, qui avait toutes les propriétés géométriques de celui d'Einstein ( courbure sphérique, espace fini,

refermé sur lui-même) mais qui, de plus, avait l'étrange propriété d'être un espace vide de toute matière.

Il importait peu finalement de savoir si l'espace de De Sitter pouvait avoir valeur représentative vis à vis de l'univers réel. L'espace astronomique est si peu peuplé, les distances entre les étoiles, et encore plus entre les galaxies, si grandes, qu'un modèle mathématique vide est encore, en somme, une bonne approximation de la réalité.

Mais philosophiquement, et c'est là la ruse de De Sitter, le problème se situait ailleurs. Qu'un univers vide puisse, selon les équations, avoir une géométrie courbe qui le referme sur lui-même, voilà qui ébranlait profondément le principe de Mach, puisque, d'après ce principe, c'était la matière de l'univers, et cette seule matière qui provoquait la courbure de l'espace.

Ainsi le rêve d'Einstein s'écroulait. Il en éprouva certes une profonde déception mais, en parfaite objectivité scientifique, se rendit à l'évidence de la belle démonstration de De Sitter.

Il devait, dès lors, rester près de vingt ans sans s'adonner, au moins publiquement, à de nouvelles études cosmologiques. Mais, on peut penser raisonnablement qu'au plus profond secret de ses méditations, la cosmologie resta toujours la préoccupation première du génial savant. Il adopta en tout cas la seule attitude scientifiquement valable devant pareille mésaventure: attendre l'apport de l'expérience, en l'occurrence les découvertes que les observations astronomiques n'allaient pas tarder à moissonner après la mise en service du télescope de 2<sup>m</sup> 50 du Mont-Wilson, qui était alors le plus grand du monde à cette époque.

Avec cet oeil géant, Hubble allait découvrir le royaume des galaxies mais surtout le plus gigantesque phénomène jamais observé, la fuite de ces galaxies avec des vitesses d'autant plus grandes qu'elles sont plus éloignées. Les grands télescopes révélaient l'expansion de l'univers. Ainsi l'univers était en train de grandir. Il était en évolution et cette découverte bouleversait les idées philosophiques les plus enracinées. Même pour le génie d'Einstein, avant la découverte de Hubble, l'immutabilité du cosmos n'avait jamais été remise en question. Un univers immuable et par là même intemporel, telle était la conception presque inébranlable qu'on se faisait du monde à cette époque. Il est émouvant de penser qu'Einstein lui-même se soit laissé prendre au piège de cette "évidence".

C'était là la source de toutes ses difficultés et l'erreur de son modèle. L'univers d'Einstein était immuable; sa géométrie était statique.

On sait démontrer aujourd'hui, de façon tout à fait générale, que tous les modèles statiques, compatibles avec les équations de la relativité générale, sont l'univers euclidien, le modèle d'Einstein et celui de De Sitter.

Que des esprits comme Einstein et De Sitter aient, à l'époque des premiers balbutiements de la cosmologie, mené leurs études de façon si exhaustive, force encore notre admiration.

Mais avec la découverte observationnelle de Hubble, nous savons désormais que la solution était ailleurs, dans des modèles non statiques, à géométrie variable.

Henri Andriolat

\*\*\*\*\*  
LA TOUR EIFFEL, TOUR D'HORLOGE  
\*\*\*\*\*

Dans un journal de grande diffusion, Télérama du 30 novembre 83 pour être précis, une suite de photos de l'ombre de la Tour Eiffel à différentes heures de la journée. Et ce titre "Moins pratique que la montre, mais tout aussi fiable, la Tour Eiffel donne l'heure aux parisiens. Il suffit de la suivre comme une ombre".

Question pour les lecteurs: quand un cadran solaire horizontal à style vertical est-il fiable ??

COURRIER DES LECTEURS

Merci aux correspondants du CLEA qui nourrissent cette rubrique. Qui la nourrissent si bien qu'il faut faire un choix: que les correspondants non cités nous excusent, ils ne sont pas moins lus et écoutés.

Grenoble Christiane Barathon, de l'Ecole Normale de Grenoble, qui a participé avec Andrée Richeimé à un stage académique d'Astronomie fort réussi nous écrit son enthousiasme pour le planétarium Starlab. Elle l'a utilisé plus de cent fois avec des élèves de tous les niveaux depuis le CE2 aux lycéens de 1ère AB; sans oublier les enseignants et les astronomes amateurs. Elle a rédigé un rapport précis et détaillé sur l'utilisation des divers "cylindres" de l'appareil.

Toulouse L'équipe Sylvie Vauclair, Jean-Pierre Brunet, R. Talon de l'observatoire de Toulouse a organisé deux stages d'une journée chacun en septembre 1983. L'un sur l'histoire de l'astronomie ouvert à tous les enseignants du secondaire; l'autre sur l'astrophysique moderne pour les enseignants scientifiques. Grand succès et souhait qu'à l'avenir ces deux stages soient fondus en un seul de durée plus longue. D'autre part des Unités de Formation en astronomie sont organisées dans les EN de Toulouse, Cahors, Foix et Montauban.

"Les aventures d'Ocentre du Cosmos" Tel est le titre d'un journal scientifique rédigé avec humour par les élèves de 6, 5, 4 et 3ème du Collège de Ceaucé (Orne). Le numéro 1 explorait tout l'Univers; le numéro 2 détaille notre bon vieux système solaire.

Strasbourg L'équipe de l'observatoire animée par Agnès Acker poursuit ses activités; deux cycles d'astronomie pour les néocertifiés (dans le cadre du CPR), l'un de trois demi-journées, l'autre de cinq; sur la gravitation universelle, le temps et les distances. Toujours beaucoup de public pour le planétarium. Enfin un cycle "sciences de la vie et de l'Univers" pour les professeurs de biologie.

Publications du planétarium disponibles (chaque brochure 15f + frais de port 10f quelque soit le nombre de brochures commandées) n°2 la Terre, les jours et les nuits, les saisons; n°3, la Lune; n°4, le système solaire à la lumière de l'exploration spatiale; n°5, les étoiles; n°7, le temps qui passe; n°8, l'étoile de Bethléem; n°10, D'où venons-nous?

Gemina Tel est le titre du bulletin trimestriel de l'AAAA (Association des Astronomes Amateurs Ardennais) que nos amis de Charleville viennent de créer et qui groupe déjà une quarantaine de membres. Animée par la petite équipe du CLEA que nous connaissons, l'AAAA est bien partie. Nous lui souhaitons longue vie.

Le cadran solaire de Monistrol. Dans le cadre d'un PAE, à raison d'une heure par semaine durant l'année 82-83, les élèves du collège Le Monteil de Monistrol sur Loire (Haute Loire) ont construit un cadran solaire monumental pour leur collège. Une vingtaine d'élèves de 3ème ont été encadrés par leurs professeurs de mathématiques et de physique. Les élèves se sont documentés; ils ont mesuré directement la latitude de Monistrol après avoir déterminé la méridienne. Ils ont réalisé une maquette du cadran vertical qui a été réalisé (tracé sur une feuille d'aluminium rivée sur un cadre inoxydable, dimensions: 1m sur 1,62m de haut). Devise choisie par les élèves: "une de plus, une de moins". L'inauguration du cadran a donné lieu à une exposition publique. Bravo pour cette activité.

Pour l'observateur débutant Un rapport sur le développement du travail pour l'astronomie dans le futur musée de la Villette a été élaboré, fin 1983, par Michel Charles avec des illustrations de Jean-Pierre Petit. C'est prometteur et on compte bien que le thème astronomie du futur musée sera l'un des premiers prêts. Les visiteurs sont déjà impatients.

Le problème de la météorite Georges Calise qui travaille au CNRS à Bordeaux nous écrit à propos du problème posé dans notre n°17 page 29: "Avec les données 30 km et 5°, la hauteur  $h=AB \operatorname{tg}85^\circ$  devient 342 km; la hauteur donnée dans le n°19 p.27 (125km) est beaucoup plus raisonnable. Si cette valeur est exacte, l'erreur provient d'une des deux données,  $AB=10,9\text{km}$  au lieu de 30 ou l'angle de  $13^\circ$  au lieu de  $5^\circ$ . Mais, de toute façon, l'étoile filante devait être bien jolie à regarder." Merci, cher lecteur, de cette correction.

ASTRONOMIE EN POLOGNE

*Note de la Rédaction: le Comité de Rédaction des Cahiers Clairaut a reçu avec beaucoup de plaisir cette lettre du Professeur Iwaniszewska. Nous avons déjà eu l'occasion de dire à nos lecteurs le rôle actif qu'elle joue au sein de l'Union Astronomique Internationale en faveur de l'enseignement de l'Astronomie.*

Chers Amis,

Je vous suis vraiment bien reconnaissante pour les envois continuels des Cahiers Clairaut, que je lis bien attentivement. Merci aussi pour la note concernant ma personne insérée au n° 21 dans l'article du professeur Andrillat sur Copernic. Et moi qui viens justement de parler encore des C.C. pendant une conférence internationale !

Je voudrais vous faire part aujourd'hui de deux problèmes, qui pourraient intéresser les lecteurs des C.C.

En septembre dernier, le planétarium d'Olsztyn était le siège d'une réunion de personnes travaillant aux planétariums ou bien engagées dans la popularisation et l'enseignement de l'astronomie. Une vingtaine de collègues des planétariums d'Allemagne Démocratique et Fédérale et de Tchécoslovaquie y prirent part. Le thème principal était: "Les méthodes modernes de la popularisation de l'astronomie". Comme je reçois moi-même des informations sur ce qui se passe dans divers pays, on m'a priée d'en parler pendant cette conférence. J'ai choisi la France comme un exemple et j'ai parlé pendant vingt minutes sur "La popularisation de l'astronomie et la formation des enseignants en France à travers les pages des Cahiers Clairaut".

J'ai essayé de parler des "recettes" pratiques qu'on trouve dans chaque numéro des C.C., par exemple la construction des instruments, en partant des télescopes à construire dans les ateliers d'école jusqu'aux simples héliomètres et cartes pour mouvement diurne en carton. J'ai raconté vos expériences avec les plus jeunes enfants, leurs jeux aux planètes et au Soleil, leurs questions pas faciles à répondre. J'ai parlé des clubs d'astronomie et de leurs projets, comme par exemple le PAE sur la couleur des étoiles réalisé par les élèves d'Aix-en-Othe. Et l'histoire de la petite fauvette babillarde avec les calculs des élèves de Lyon a eu beaucoup de succès ! J'ai raconté naturellement tout ce que je savais sur les écoles d'été et les stages de formation pour les maîtres. Finalement, comme la conférence se passait à Olsztyn, je ne pus résister au plaisir de finir mon exposé avec les dernières phrases de l'article d'Henri Andrillat (C.C. n°21) décrivant la chambre gothique de Nicolas Copernic à Olsztyn: "... avec la dernière page du grimoire, qui ne sera jamais tournée..."

Parmi les collègues de Tchécoslovaquie et d'Allemagne qui se sont intéressés aux Cahiers, était, je crois, le rédacteur en chef de la publication allemande "Astronomie in der Schule" ("Astronomie à l'école"), le Dr Helmut Bernhard. Peut-être a-t-il déjà écrit à la rédaction des C.C. ou même directement au professeur Lucienne Gouguenheim ? Je crois que l'échange d'idées avec les collègues d'une publication un peu plus "vieille" que les C.C., car "l'Astronomie à l'école" paraît depuis 20 ans, sera peut-être utile.

Mais je devrais vous raconter un peu les problèmes dont on a parlé à la conférence d'Olsztyn. On a discuté quel est le rôle du planétarium dans l'éducation moderne? L'enseignement au planétarium ne doit pas se borner seulement à l'astronomie proprement dite, mais aussi d'une façon plus générale, aux sciences. Et l'appareil de projection au planétarium, ce n'est pas tout ! Il faudrait avoir une sorte de laboratoire de physique moderne, car ce n'est pas seulement de l'astronomie classique qu'il faut parler et démontrer au planétarium. Le planétarium moderne devrait opérer comme centre méthodique pour les enseignants; comme centre d'information sur les nouvelles découvertes en astronomie (des conférences faites par des astronomes

professionnels invités) et sur les nouveaux livres parus; comme institution ayant des contacts directs avec la presse pour que les informations publiées dans la presse soient plus exactes. Ici, un des directeurs de planétarium d'une grande ville s'est plaint d'être poursuivi par les journalistes au téléphone à la maison, même bien tard dans la nuit! Il y a des villes où chaque élève doit passer au moins deux ou trois fois par an au planétarium; il y en a d'autres où on donne aux enfants une entrée libre s'ils viennent une seconde fois en visite au planétarium en amenant des collègues. Les séances au planétarium sont d'ordinaire préparées spécialement pour diverses sortes de public: pour les plus jeunes (4-5 ans), les élèves de différents niveaux, pour le public en général.

Parmi les planétariums de Pologne il y en a dix qui ont été construits aux usines de Carl Zeiss à Iéna, et puis il y a un onzième qui a été fait par un professeur de physique et ses élèves! Il se trouve dans un lycée à Piotrków Trybunalski, une ville au centre de la Pologne. Les enthousiastes ont travaillé à la construction de l'appareil de projection pendant quatre années. La salle de projection se trouve dans une partie du hall de l'école, avec une sorte de tente servant comme dôme du planétarium. En dehors du travail fait au planétarium, nous avons chez nous aussi des personnes qui essaient d'apprendre l'astronomie aux plus jeunes enfants, à l'école maternelle (4-6 ans). Un animateur a montré à Olsztyn une série de dessins faits par les plus jeunes sur le thème "Soleil et planètes" après une rencontre avec l'astronome. Il fallait voir toutes ces couleurs vives, jaune-orange et rouge-feu, qui émanaient de notre soleil dans les travaux des petits!

En général, on voit que les activités des planétariums sont différentes: il y a ceux qui peuvent publier des petites brochures, des cartes postales et des jeux d'enfants à thèmes astronomiques. Il y en a d'autres qui organisent des cours réguliers pour les enseignants d'une région voisine du pays; il y en a encore d'autres qui se donnent beaucoup de peine pour persuader l'administration scolaire locale d'envoyer les élèves des dernières classes de la région avoisinante pour faire une visite par an au planétarium. On voit donc que tout dépend de la situation locale, et de l'institution à laquelle le planétarium est affilié. Je viens justement de lire dans le n° 22 des C.C. que le planétarium de Strasbourg organise en avril 1984 une conférence des planétariums d'Europe et je crois que les problèmes qu'on se propose d'aborder sont pour la plupart les mêmes que ceux dont on a parlé à Olsztyn.

Le second thème que je voudrais aborder dans cette lettre, ce sont les séries de conférences pour le grand public. Or, il existe en Pologne depuis plus de 60 ans une société d'amateurs d'astronomie, qui a ses branches locales dans une vingtaine de villes. La branche de Toruń qui existe depuis 30 années, organise, entre autres activités, une série de conférences astronomiques pour le grand public. Les dernières années, on a eu 12 conférences, depuis octobre jusqu'en avril, faites par des astronomes professionnels, dans une salle de l'ancien hôtel de ville (maintenant musée) au centre même de la vieille ville de Toruń, à deux pas du monument de Nicolas Copernic et de sa maison natale. Depuis trois années, nous prenons un thème principal pour la série annuelle: en 1981-82 c'était "le temps dans la nature", en 1982-83, c'était "l'énergie" et en 1983-84 c'est "la lumière". Pour chaque série, on trouve des conférenciers parmi les professeurs de l'université de Toruń ou ailleurs, non seulement astronomes, mais physiciens, géologues, géodésistes, biologistes, etc.

Citons d'abord quelques titres des conférences faites au sein de la série sur "le temps". C'était d'abord des problèmes d'astronomie sphérique: où a commencé la journée d'aujourd'hui?, l'histoire du calendrier, les méthodes modernes de la détermination du temps et la rotation de la Terre. Après venait l'évolution: le temps dans la vie des planètes et des étoiles, les premiers moments de la vie de l'Univers, l'âge de l'Univers et l'âge de la Terre raconté par un géologue. Enfin, des thèmes divers: le temps enseveli dans les cristaux, dans les systèmes biologiques, la notion du temps dans la physique et la philosophie.

Parmi les douze conférences de la série de 1983-83, on a parlé de l'énergie des étoiles et des galaxies, d'astrophysique des hautes énergies, des changements d'énergie dans les étapes précoces de la vie de l'Univers, de l'énergie dans les réactions chimiques, des atomes et de la luminescence, des lois de conservation de l'énergie, de la bioélectricité et de la photosynthèse, du charbon comme source d'énergie sur la Terre, enfin de l'énergie produite dans les tremblements de Terre.

Dans la série de cette année scolaire, "la lumière", nous avons eu déjà des conférences sur les propriétés du rayonnement, sur les informations concernant l'Univers apportées par la lumière, sur les instruments modernes de l'astronomie. On va nous parler des méthodes d'observation dans toutes les longueurs d'onde, des X jusqu'en radio, et des images des différents corps célestes qu'on y obtient; on va parler des lasers dans la géodésie, de la fonction de la vue de l'homme dans son voyage au-delà de la Terre, et, finalement, de la lumière comme condition de la vie.

Bref, vous voyez que c'est chaque année un cours d'astronomie, présenté sous un angle différent, et en plus quelques variations du thème principal vu par les sciences voisines de l'astronomie. Et justement nous voulons donner une sorte de cours d'astronomie, car, comme vous le savez, il n'y a plus d'astronomie comme sujet séparé dans nos lycées; quelques notions astronomiques se trouvent seulement incorporées au sein de la physique. Alors on doit aider les enseignants en préparant ces conférences pour les élèves des dernières classes de lycée. La plus grande partie de l'auditoire de nos conférences consiste en des écoliers, ensuite en des enseignants, quelquefois des ingénieurs, des médecins, et plus rarement des personnes retraitées.

Comme il faut quand même finir cette lettre-fleuve, je voudrais encore joindre mes meilleurs vœux pour l'année nouvelle à tout le comité de rédaction des Cahiers Clairaut.

Amicalement

Cecilia Iwaniszewska  
Institut d'Astronomie à l'Université Nicolas Copernic, Toruń.

\*\*\*\*\*

STAGES C.E.M.E.A.

Les Centres d'Entraînement aux Méthodes d'Education Active (CEMEA) organisent des stages de formation qui s'adressent à tous pour une initiation personnelle et à tout enseignant, animateur, éducateur spécialisé, parent, désireux de faire partager ses connaissances à des enfants, jeunes ou adultes.

Ces stages permettent l'expérimentation et l'analyse de démarches scientifiques et pédagogiques et ne nécessitent aucune connaissance préalable.

- METEOROLOGIE : "Du temps qu'il fait au temps qu'il fera" du 1 au 7 avril 84 à ANGLET
- DECOUVERTE DU CIEL : du 17 au 25 août 1984 à ANIANE (34)
- ASTRONOMIE: conception et construction d'instruments et de maquettes du 17 au 25 août à ANIANE (34)

Pour tout renseignement complémentaire s'adresser à : CEMEA Bureau des Stages  
75 Brd de la Villette 75940 PARIS CEDEX 19 ( tel: (1) 206 38 10 )

"LES ETOILES TOURNENT-ELLES DURANT LA NUIT ?"

1ère séquence

La maitresse (M) a posé cette question aux élèves (E) durant l'observation des étoiles. Quelques jours après, la M vérifie si le sens de rotation apparent du soleil et le sens de rotation de la terre ont été bien assimilés par les E.

M : si nous restons longtemps à observer les étoiles que va-t-il se passer?

E : on va les voir tourner;

M : dans quel sens?

E : comme le soleil d'est en ouest;

M : lorsqu'on vous photographie et que vous bougez, comment sera la photo ?

E : floue!

M : et si on photographie une étoile ?

E : - elle sera floue...

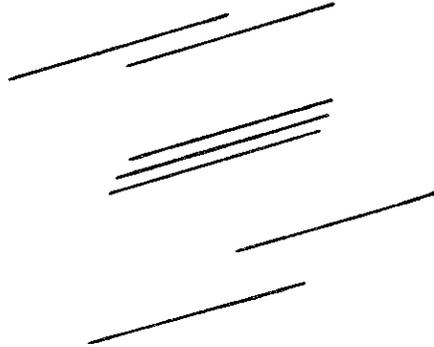
- non car elle bouge lentement.

M explique que la lumière des étoiles est trop faible pour impressionner la plaque photo et qu'on est obligé d'appuyer longtemps sur le déclic de l'appareil photo.

Avec une lampe électrique, elle mime le mouvement d'une étoile.

Les E arrivent rapidement à la conclusion qu'on verra un trait sur la photo prise en pose.

Les E connaissent bien Orion. La M distribue une photo d'Orion prise en pose pendant 1 heure:



Temps de réflexion et d'observation.

E - les trois traits de la ceinture ont l'air égaux; (en effet: 3 cm)

E - c'est parce qu'on a déclenché l'appareil photo et on l'a arrêté en même temps pour toutes les étoiles.

les E dessinent et localisent les débuts et fins de traits et retrouvent la constellation d'Orion.

Ensuite, une photo du ciel étoilé est projetée; elle est très nette.

M : pourquoi la photo est-elle si nette?

E : on ne peut pas arrêter la terre de tourner !

E : il faut tourner l'appareil photo ?

M : et dans quel sens ? d'est en ouest, ou d'ouest en est ?

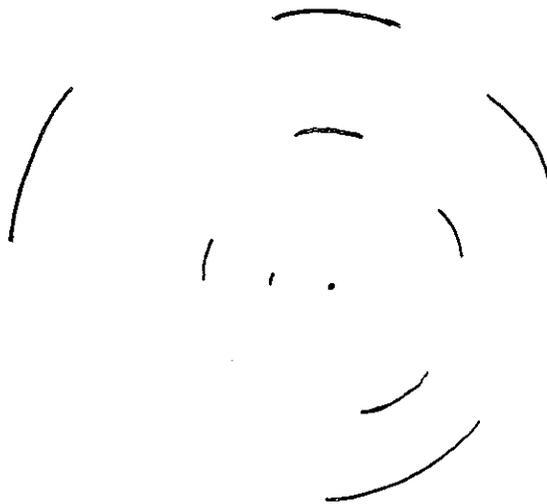
Grande réflexion: la terre tourne d'ouest en est, il faut donc tourner l'appareil photo d'est en ouest pour suivre les étoiles.

M montre une planche équatoriale sur laquelle on fixe l'appareil photo; les E sont intrigués car ils n'imaginaient pas un dispositif aussi simple !

### 2ème séquence

"les étoiles semblent tourner autour de l'étoile polaire qui est dans le prolongement de l'axe de la terre"

M distribue une photo du ciel prise avec une pose de 1 heure:



E déconcertés.

M : que représentent les traits ?

E : - les trajets des étoiles, mais elles tournent !  
- les trajets ne sont pas égaux ! (lors de la 1ère séquence les trajets paraissent égaux car la photo représentait une faible partie du ciel, située, de plus, sur l'équateur).  
- elles tournent autour d'un point.

M : ce point est l'étoile polaire.

E (un petit malin) : c'est pour cela que le centre de la carte du ciel est la Polaire.

M : imaginons que c'est la nuit; (les rideaux sont tirés, les E assis au milieu de la classe);

M : que vont faire les étoiles au cours de la nuit ?

E : elles vont tourner d'est en ouest.

M : il nous faudrait un plafond qui tourne comme au planétarium à Paris !  
( à la fin du cours, les E qui voulaient visiter Paris décident, à l'unanimité, d'aller voir le Palais de la Découverte !)

M (accroupie au milieu des E) : - mais j'ai un parapluie (avec le dessin des constellations)!

Quelle joie ! on tourne le parapluie, reconnaît les constellations; on constate que l'étoile polaire est sur l'axe du parapluie;

La M tient le parapluie vertical.

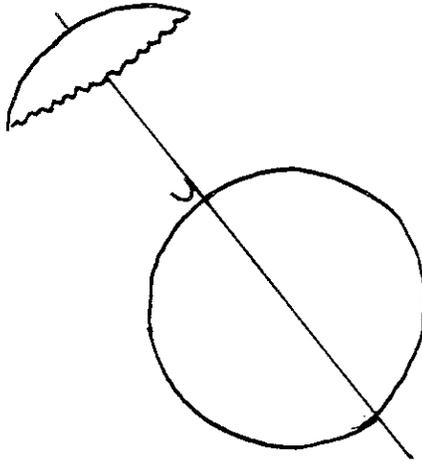
E : mais la Polaire n'est pas au-dessus de notre tête, elle est là (il indique sa direction).

On incline donc le parapluie en direction de l'étoile polaire.

M : apporte le globe terrestre

- comment doit-on placer le parapluie par rapport au globe ?  
tâtonnements ...

E : La polaire indique le nord, elle est au-dessus du pôle. Essayons:



On place parapluie et globe, on tourne le globe et on comprend aussi pourquoi sur la photo, les étoiles semblent tourner autour de l'étoile polaire !

Les questions fusent au sujet du ciel austral.

On dessine la position de la polaire par rapport à la terre.

Remarque : il n'y a pas d'étoile correspondant au prolongement de l'axe des pôles du côté du pôle austral.

### 3ème séquence

#### Notion d'angle de rotation

##### Objectif:

Les étoiles tournent toutes autour de la Polaire d'un même angle. Lors d'un jeu en éducation physique, les E alignés doivent, tout en restant en ligne, tourner autour de l'E en bout de rangée (A par exemple)

x x x x x x x  
A B C D E F G

On constate que l'élève G doit parcourir un long chemin tandis que l'élève B doit marcher à petits pas

E : mais c'est pareil pour les étoiles !

On dessine au tableau la Polaire et quelques étoiles alignées avec elle;

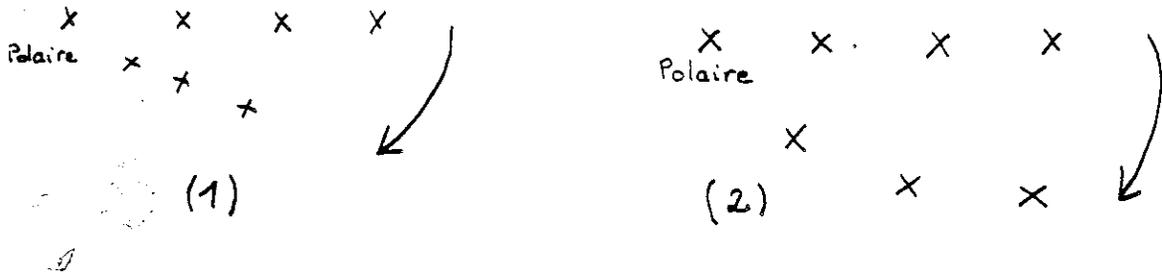
M : Où seront-elles au bout d'une heure ?

Les E les font toutes tourner dans le même sens

2 élèves font le schéma (1)

5 élèves font le schéma (2)

les autres font le schéma correctement.



Critique des schémas :

schéma (1) : puisque les étoiles restent à la même distance de la Polaire, il est faux.  
 schéma (2) : plus difficile à trouver, mais un malin pense que:  
 puisque les étoiles étaient alignées avec la Polaire au départ, elles le  
 sont encore une heure après.  
 Donc le schéma est faux.

Conclusion :

Puisque l'angle de rotation est le même pour toutes, les étoiles qui sont les plus loin de la Polaire semblent se déplacer plus vite.

Liliane Sarrazin, Professeur d'Ecole Normale  
Madame Leclerc, Conseiller Pédagogique  
 et 28 élèves de CMI de l'école de Roussillon

---



---

NOUVELLES PARUTIONS EN ASTRONOMIE

Le fascicule N°V de la Formation Permanente des Maîtres en Astronomie de l'Université Paris XI vient de sortir. Il est consacré au thème "Renseignements pratiques et bibliographie pour l'Astronomie" et peut être obtenu auprès de L. Gouguenheim, Laboratoire d'Astronomie, Bât. 426 Université Paris Sud 91405 ORSAY CEDEX. Son prix est de 25 f; chèque à établir à l'ordre de L. Gouguenheim; une réduction de 5% est faite aux membres du CLEA.

Rappelons que le compte rendu de l'école d'été de Sophia Antipolis (1982) est disponible, au prix de 50 f; les conditions pour l'obtenir sont les mêmes que précédemment

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

REABONNEZ-VOUS AUX CAHIERS CLAIRAUT SANS ATTENDRE !!!

voir les conditions de réabonnement et d'adhésion au CLEA pour 1984 en page 2.

\*\*\*\*\*

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLEA

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

Laboratoire d'Astronomie Bât. 426 91405 ORSAY CEDEX

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

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

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

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