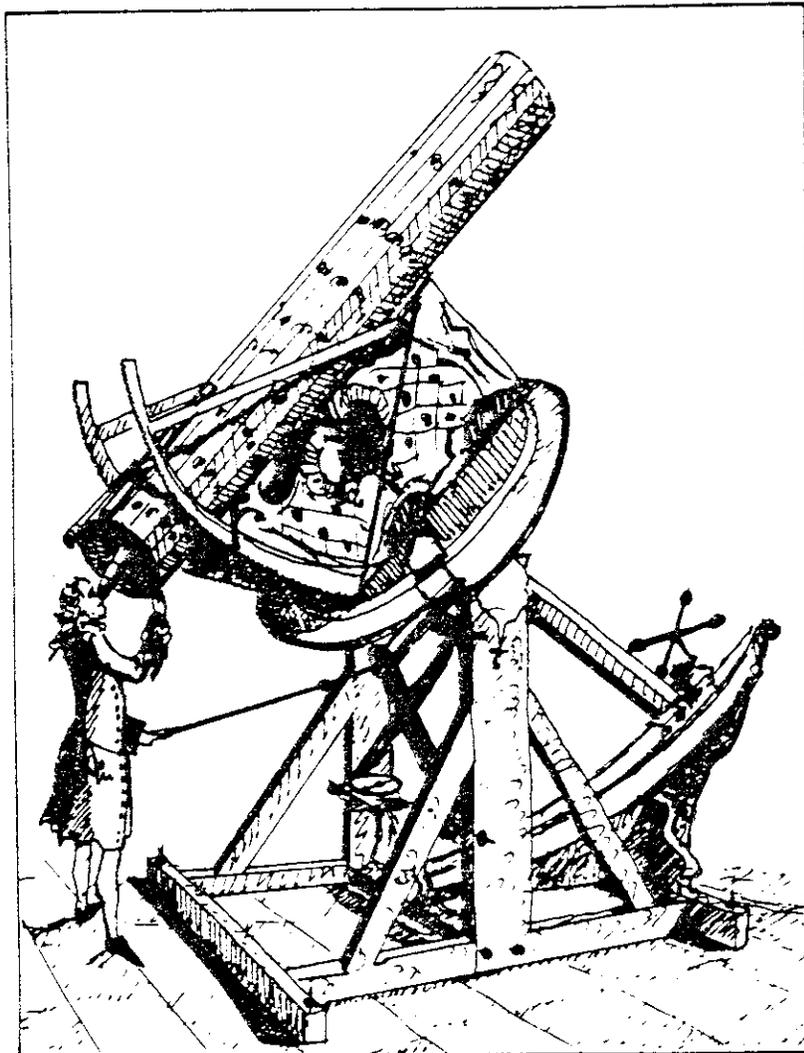


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n° 25 - été 1984

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 25 Eté 1984

Séquence d'éveil en astronomie en CP à l'école française de Kinshasa 3

Etoiles à neutrons et pulsars 9

William Herschel et Uranus 12

De Newton à Kepler ... avec la calculette du physicien 13

Les potins de la Voie Lactée 16

Réponse à une question sur l'arc en ciel 17

A propos de l'arc en ciel 19

Lecture de Kepler (3) 20

Astronomie et philosophie: les modèles d'univers en expansion 23

Chronique du CLEA 25

Test d'intelligence 26

Astronomie, mathématique et algorithme: mouvement du plan de l'orbite de la lune 27

Lectures pour la Marquise 31

Astronomie au Technicum de Batna 35

Mesure de la masse de Jupiter ... sans balance 36

Courrier des lecteurs 41

Faites votre système solaire vous mêmes dans la cour de l'école 42

L'astronomie dans le calendrier des PTT 43

Rééditions 44

EDITORIAL

Une nouvelle année commence, avec une nouvelle couverture (!) et de nouveaux feuillets: nous inaugurons celui sur les étoiles à neutrons et les pulsars. Les rubriques habituelles aussi, avec le feuillet sur Kepler qui se termine, mais K.Mizar a déjà de nouvelles idées: il sera bientôt question de la comète de Halley. De la lecture aussi pour ceux qui enseignent dans le primaire, avec une bien belle expérience en CP que nous relate Denis Vallarché. Vos envois sont toujours les bienvenus !

La Rédaction

FICHE D'ADHESION AU CLEA ET D'ABONNEMENT AUX CAHIERS CLAIRAUT

A REMPLIR EN CARACTERES D'IMPRIMERIE)

NOM

ADRESSE

.....

- désire adhérer au CLEA
- désire s'abonner ou se réabonner aux Cahiers Clairaut (n° 25 à 28)
- désire recevoir la collection complète des numéros parus (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 numéros parus (n°1 à 24): 160f

LIBELLER LES CHEQUES A L'ORDRE DU CLEA

Retourner la commande à Madame F. Delmas, IAP, 98 bis Brd Arago 75014 PARIS
 NB:si possible, donnez l'adresse de votre établissement scolaire, afin de pouvoir bénéficier de la franchise postale, mais n'oubliez pas de signaler vos changements d'affectation.

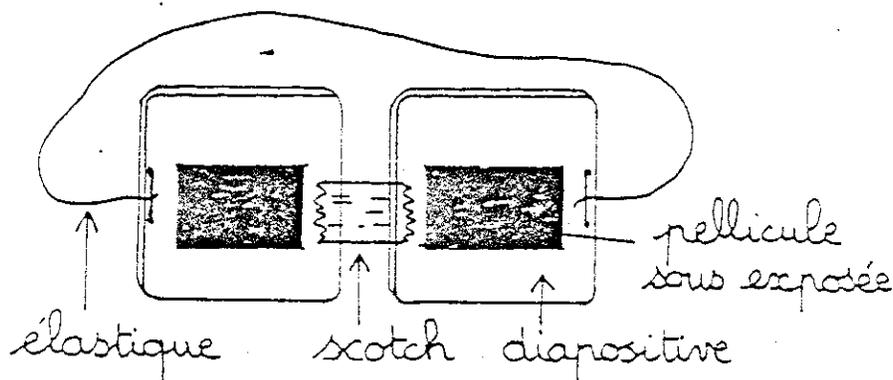
SEQUENCES D'EVEIL EN ASTRONOMIE EN COURS PREPARATOIRE
A L'ECOLE FRANCAISE DE KINSHASA

Note de la rédaction: Nous avons reçu avec beaucoup de plaisir ce texte que nous a adressé Denis Vallarché, ancien stagiaire de l'école d'été de Sophia-Antipolis. Le directeur de la publication a eu le privilège de recevoir un très beau dessin de l'éclipse de Soleil de 1983 fait par l'un des élèves de Denis: c'est un privilège très apprécié. Mais les lecteurs des Cahiers auront aussi le plaisir de voir les dessins des enfants, extraits du journal scolaire.

POINT DE DEPART.

L'éclipse annulaire de Soleil du dimanche 4 décembre 1983.

Je distribue aux élèves une paire de lunettes spéciales pour observer l'éclipse, ainsi qu'une note aux parents.



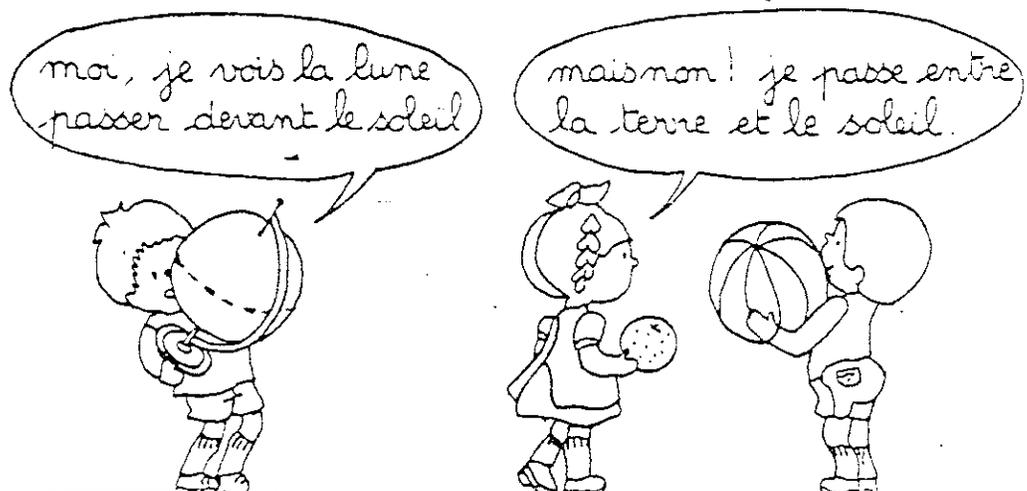
Les enfants rapportent des dessins plus ou moins précis de l'éclipse. Après discussion, ils ont acquis que "la lune est passée devant le soleil".

Je leur demande de faire chaque jour un dessin de la position relative du soleil et de la lune ainsi que de la forme de la lune. Afin de pouvoir comparer les dessins, ils devront être faits à la même heure chaque jour (par exemple au coucher du soleil) et toujours au même endroit (en notant des points de repère).

PREMIERE SEANCE.

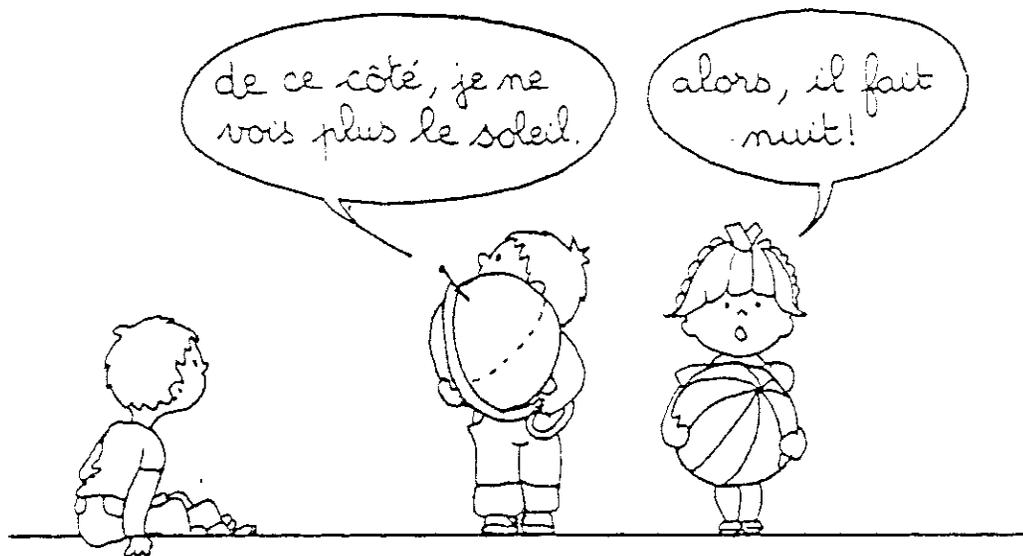
Schématisation de l'éclipse: un ballon pour le soleil, une petite balle pour la lune et une mappemonde pour la terre, tenus par des enfants.

A partir de l'acquis: "la lune est passée devant le soleil", les élèves sont amenés à passer d'un modèle égocentrique à une formulation plus générale: "la lune est passée entre la terre et le soleil".



Je place une bûchette représentant un bonhomme d'un côté de la mappemonde et je demande s'il peut voir le soleil et/ou la lune. L'exercice est répété plusieurs fois en changeant les élèves de place. A chaque fois la classe doit décrire la situation (où est la lune par rapport à la terre? de quel côté de la terre est le soleil? etc...), et un élève vient se placer à côté du bonhomme pour dire ce qu'il voit.

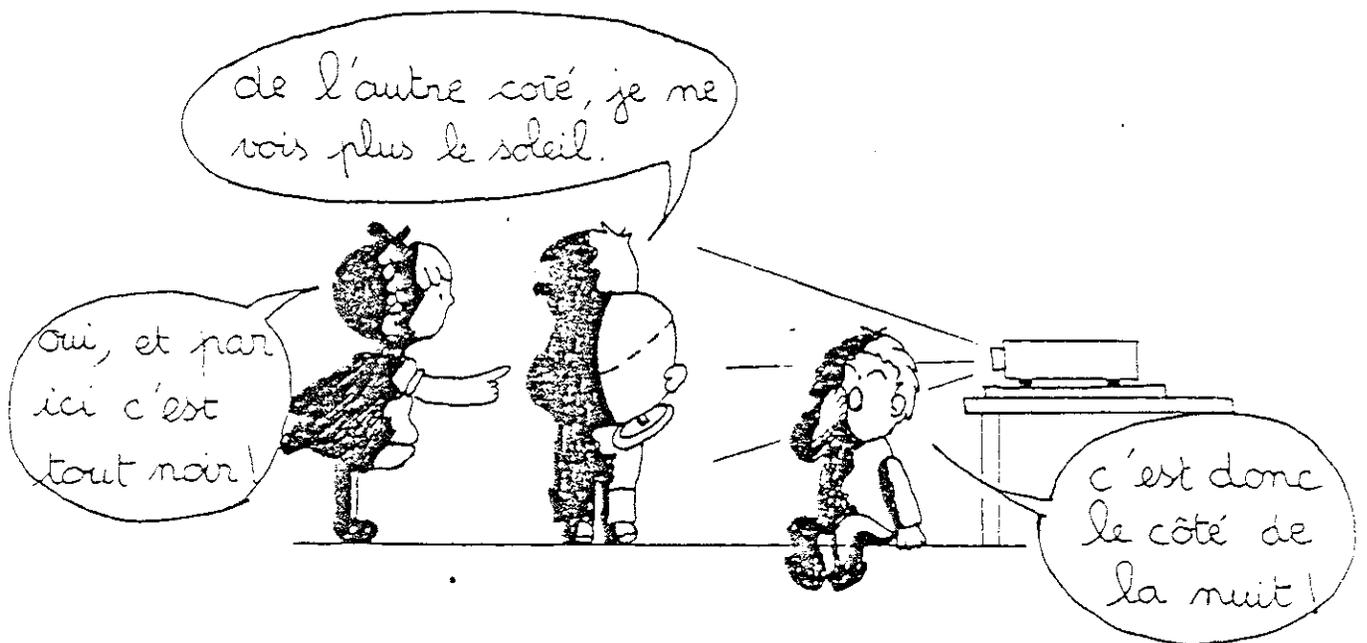
Ce travail nous conduit à une première définition intuitive du jour et de la nuit



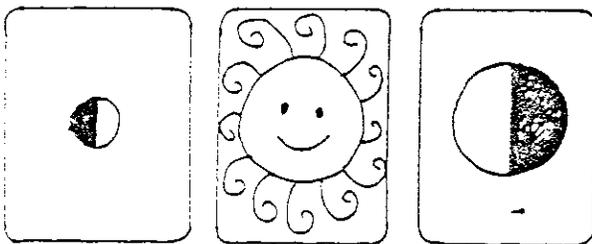
DEUXIEME SEANCE.

Je remplace le soleil par un projecteur de diapos et je déplace le bonhomme sur la mappemonde en demandant à chaque fois s'il voit le soleil. Les enfants découvrent qu'il ne voit le soleil que s'il est du côté de la terre éclairé par le projecteur.

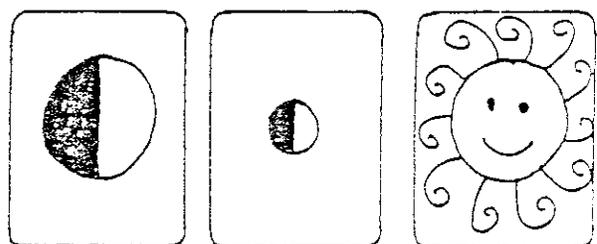
Ce qui amène à une nouvelle définition du jour et de la nuit: il y a une face éclairée de la terre, et une face sombre.



Les enfants se fabriquent trois cartes à jouer représentant respectivement le soleil, la terre et la lune de profil. Ils doivent changer la place des cartes en veillant à ce que les faces éclairées de la terre et de la lune soient toujours du côté du soleil. Au début, ils reproduisent des situations et élaborent eux-mêmes la "règle du jeu", puis ils jouent seuls.



exemple 1



exemple 2

TROISIEME SEANCE.

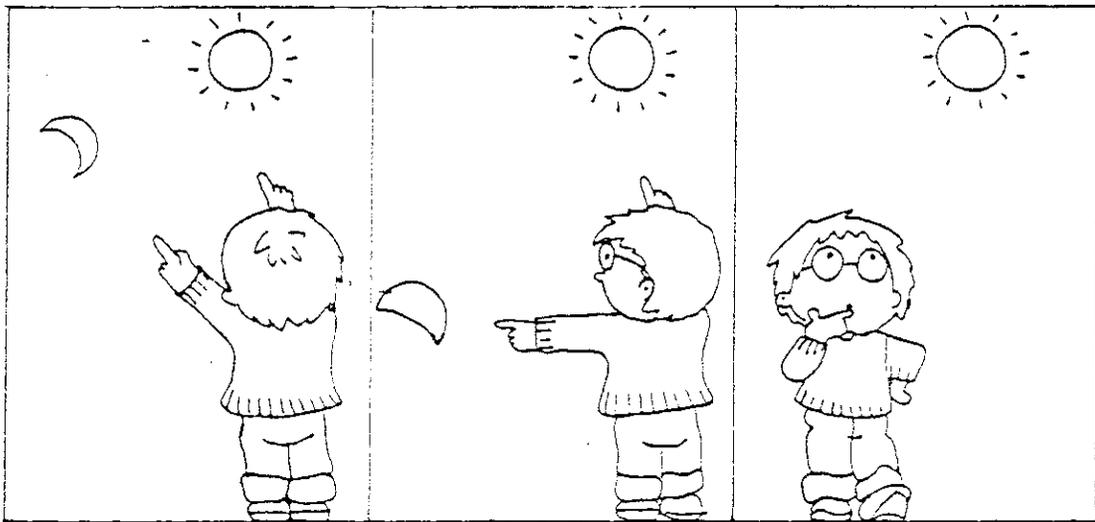
On reprend la même manipulation avec le projecteur. Un élève vient se placer à côté de la mappemonde pour dire s'il voit le côté éclairé de la lune ou le côté sombre. Le terme "Pleine lune" est introduit. (en effet, certains enfants ont déjà vu la Pleine lune. Par contre, pour la Nouvelle lune, on dira plus simplement "ce n'est pas la Pleine lune"). On répète plusieurs fois l'exercice en changeant de place le projecteur et l'élève qui tient la lune.

Je leur demande de vérifier que l'on voit toujours la Pleine lune du côté où il fait nuit. A chaque fois les enfants reproduisent la situation avec leurs cartes à jouer.

A partir de cette séance, j'évite qu'ils ne placent le soleil entre la terre et la lune en leur rappelant que, lors de l'éclipse, la lune est passée entre le soleil et la terre; ce qui constitue la deuxième "règle du jeu".

QUATRIEME SEANCE.

Mise en commun des observations sur la lune. Chaque jour, nous avons observé la "distance" entre le soleil et la lune dans la cour de l'école. En pointant le soleil avec un bras et la lune avec l'autre bras, nous avons constaté que chaque jour la lune s'écartait du soleil.



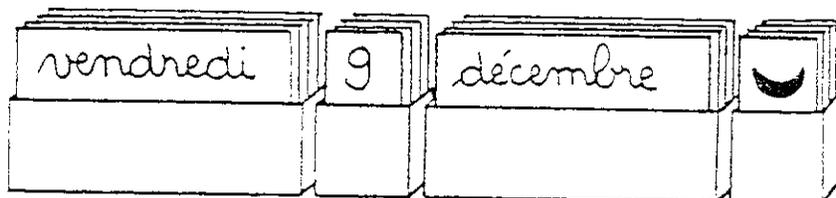
7 décembre

10 décembre

15 décembre

De même, à partir des dessins faits au coucher du soleil, les enfants ont bien vu que la lune "montait" dans le ciel et était d'autant plus "grosse" qu'elle était plus loin du soleil.

Je propose de rajouter des étiquettes pour la lune au calendrier de la classe. Chaque jour, un élève devra changer la date et la phase de la lune.



LA LUNE

CINQUIEME SEANCE.

On reprend la manipulation avec le projecteur pour expliquer ce que l'on a observé. La lune reste fixe, c'est le projecteur que je déplace autour de la lune. Les enfants constatent bien de leur place les différentes phases de la lune.

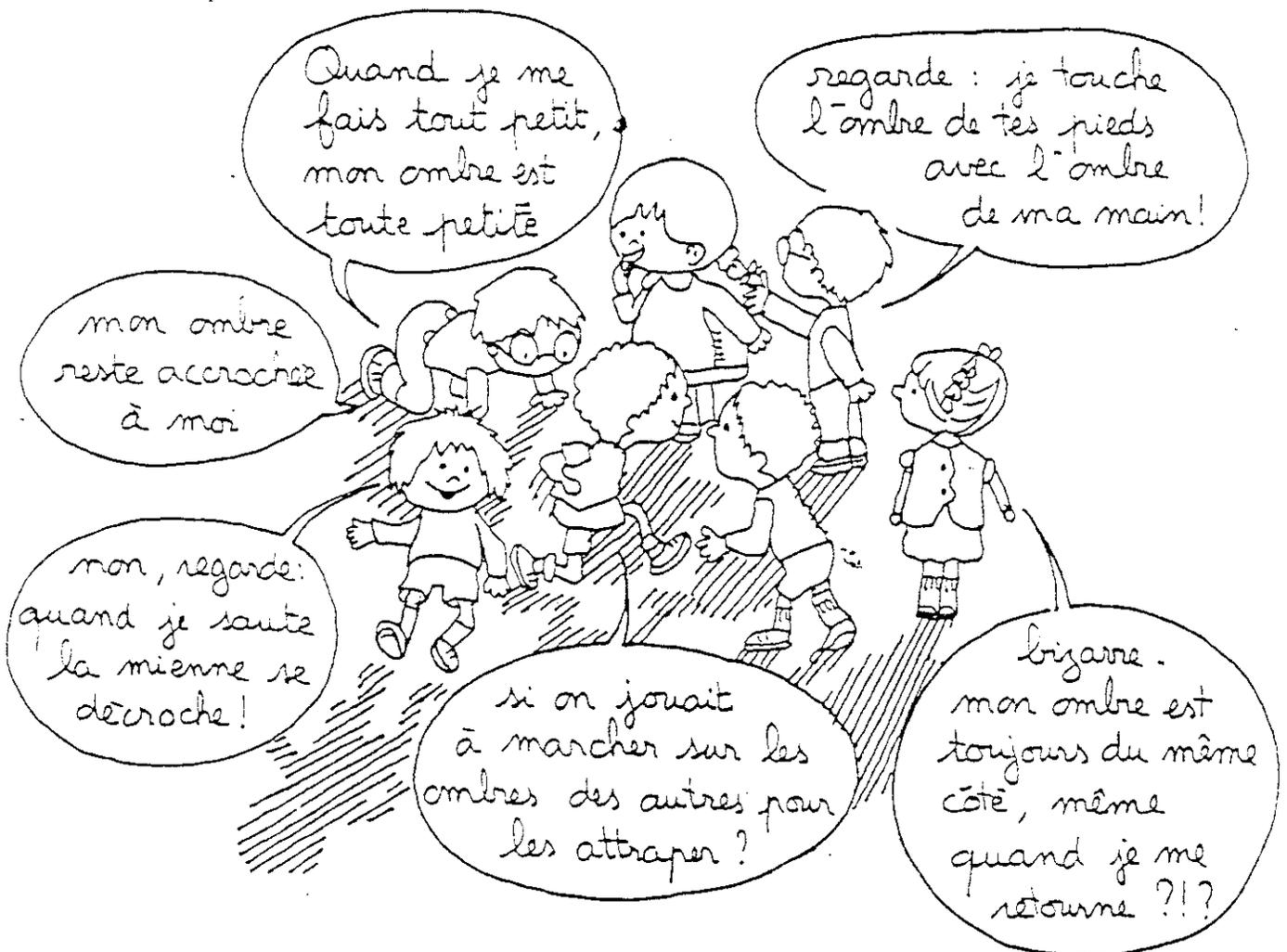
Pour la pleine lune, j'évite de placer le soleil (le projecteur) entre les enfants (la terre) et la lune, en leur rappelant les conclusions de la 3ème séance. C'est pourquoi je place le projecteur au fond de la classe. Durant cette séance, les enfants dessinent les différents croissants de la lune. Certains ont même l'idée de dessiner en noir le côté non éclairé de la lune.

Un élève demande si le soleil tourne autour de la lune. Certains ne sont pas d'accord. Une discussion s'engage. Mais je ne donne aucune "solution".

A partir de la rentrée des classes en janvier, j'ai essayé de poser les problèmes d'une autre façon en travaillant sur les ombres. Les séquences 6 et 7 sont tirées de "L'éveil par les activités scientifiques - maternelle et CP" R.Tavernier (ED. Bordas)

SIXIEME SEANCE.

Dans la cour, les enfants inventent eux-mêmes des jeux avec leurs ombres:



D'autres jeux sont proposés par la classe:

- les enfants se dispersent. Ils doivent se déplacer en évitant que les ombres se touchent.
- chat-ombre: si le chat arrive à marcher sur l'ombre d'un enfant, celui-ci devient le chat.
- attrape-ombre: il y a des voleurs d'ombre. Quand son ombre a été attrapée par un voleur, on essaye de trouver une position où il n'y a plus d'ombre (position couchée).
- l'ombre du géant: on se met à plusieurs pour ne faire qu'une seule ombre.

SEPTIEME SEANCE.

Les ombres se déplacent au cours de la journée. Les enfants peuvent travailler par groupe. L'un d'eux se tient debout, immobile, pendant qu'un autre trace à la craie le contour de l'ombre. L'opération est reprise deux fois dans la matinée. Les enfants constatent que l'ombre se déplace.

HUITIEME SEANCE.

Cette fois-ci, il s'agit de repérer l'ombre d'un piquet toutes les $\frac{1}{2}$ heures au cours de la matinée. Les enfants sont répartis par groupes, et chaque groupe va faire l'observation à tour de rôle pour ne pas perturber le travail en classe. Certains enfants ont déjà fait la relation avec le soleil: c'est le soleil qui se déplace".

Le plus souvent possible au cours de la journée, je leur demande de regarder où est le soleil, en pointant du doigt, comme nous l'avions fait pour la lune. "Le soleil se lève, il passe au-dessus de nous, et puis il va se coucher de l'autre côté".

NEUVIEME SEANCE.

J'ai planté un clou sur une petite planchette. Un élève tient la planchette verticalement et je déplace le projecteur pour faire varier l'ombre du clou. Cette manipulation permet de bien montrer que l'ombre du piquet se déplace bien en fonction du soleil. Cette manipulation permet également de montrer que si le soleil se couche d'un côté et se lève de l'autre côté, c'est qu'il a continué sa course "derrière nous". Les enfants ont acquis la notion que le soleil tourne autour de la terre.

DIXIEME SEANCE.

Avec les ballons et la mappemonde, je refais la manipulation, mais avec la lune. L'enfant qui tient la terre reste fixe. Les enfants qui tiennent le soleil et la lune tournent autour à la même vitesse, sur un cercle tracé à la craie sur le sol. Un élève se rappelle qu'avant les vacances on avait vu que la lune s'éloignait chaque jour un peu plus du soleil. A chaque tour, j'arrête donc les deux élèves qui tournent, et je les éloigne l'un de l'autre un peu plus.

ONZIEME SEANCE.

On recommence la même manipulation, mais en remplaçant le ballon qui représente le soleil par le projecteur. Je porte moi-même le projecteur et le dirige vers la lune. A chaque tour, comme à la dernière séance, la lune et le soleil s'éloignent un peu plus l'un de l'autre, toujours sur le cercle dessiné sur le sol. La classe constate les différentes phases de la lune, mais beaucoup d'élèves ont des difficultés à faire la synthèse de toutes les notions étudiées au cours des dernières séances.

CONCLUSION.

Je crois que j'ai voulu aller un peu trop loin, et si la rotation du soleil et de la lune a été bien comprise, par contre l'explication des phases de la lune reste un mystère pour un certain nombre d'élèves, peut-être à cause de la difficulté de se placer "sur la terre", bien que j'aie pris la précaution de toujours faire constater le phénomène face à la classe, c'est-à-dire quand l'ensemble des élèves sont dans la même position que l'élève qui tient la terre pour regarder le soleil et la lune.

Denis Vallarché

ETOILES A NEUTRONS ET PULSARS

Note de la Rédaction: Nous commençons ici la publication d'une série d'articles consacrée aux étoiles à neutrons et à la façon dont elles se manifestent à nous sous la forme de pulsars. Le souci de maintenir dans chaque numéro des Cahiers une certaine diversité dans les sujets traités et de limiter, pour des raisons financières évidentes, le volume de chaque numéro, nous conduit à adopter cette présentation en "feuilleton".

* * * * *

Il y a une cinquantaine d'années qu'au cours d'une discussion d'après dîner, le physicien soviétique L. Landau, prix Nobel 1962, suggérait la possibilité que des étoiles d'un type nouveau, les étoiles à neutrons, puissent exister. Aujourd'hui, non seulement ces étoiles ont été découvertes mais leur étude constitue un domaine de l'astrophysique en pleine expansion, stimulé par les données toujours plus précises apportées par les radiotélescopes et surtout par divers satellites artificiels conçus pour détecter les rayonnements X et gamma. La théorie de ces objets suscite également de nombreuses recherches sur les propriétés et la description de la matière nucléaire à haute densité, recherches qui progressent avec l'évolution de la physique nucléaire et des particules élémentaires. Bien plus, l'observation astronomique permet - dans une certaine mesure - de rejeter certaines théories de la matière nucléaire! En outre, la découverte d'un pulsar double (c'est-à-dire de deux étoiles à neutrons tournant l'une autour de l'autre) en 1975, jointe à des calculs théoriques menés à bien en 1982 grâce à une collaboration entre des chercheurs de l'Observatoire de Meudon et de l'Institut Henri Poincaré à Paris, a permis une vérification d'une précision inégalée de la Relativité Générale d'Einstein.

L'idée des étoiles à neutrons provenait d'une analogie avec les naines blanches (voir l'encadré), étoiles dont l'équilibre est assuré par la pression dite de Fermi exercée par les électrons présents dans la matière. Cette pression, d'origine purement quantique, est due au principe d'exclusion de Pauli (1925): deux électrons ne peuvent se trouver simultanément dans le même état et donc au même endroit; il s'ensuit qu'ils se "repoussent", exerçant ainsi une pression, la pression de Fermi (1926). Cette répulsion entre électrons n'a rien à voir avec la répulsion électrostatique usuelle mais est caractéristique de certaines particules élémentaires, les fermions. Ainsi le neutron - un constituant fondamental du noyau atomique, découvert par Chadwick en 1932 - est un fermion (non chargé) qui obéit au principe d'exclusion de Pauli. C'est pourquoi L. Landau, qui avait travaillé sur les naines blanches, avait imaginé qu'une masse de neutrons - un gigantesque noyau atomique - pourrait former un système stable qui ne s'effondrerait pas sous l'effet de son propre poids, grâce à la pression de Fermi des neutrons.

Quelques temps après, W. Baade et F. Zwicky (1934) suggéraient l'existence éventuelle d'un tel objet au centre de la nébuleuse du Crabe, reste de l'explosion d'une supernova, explosion observée par les astronomes chinois, coréens et japonais en 1054 (voir l'encadré).

En 1939 R. Oppenheimer et G. Volkov montraient que l'hypothèse de L. Landau n'était pas aussi farfelue qu'elle pouvait le paraître à première vue, mais était parfaitement compatible avec la Relativité Générale et des hypothèses simples sur la matière neutronique. Leur calcul donnait une masse maximale de $0,7$ masse solaire, pour un rayon de 15 km, ceci pour une densité centrale de $3,6 \times 10^{15}$ g cm⁻³ (un peu plus de dix fois la densité au coeur d'un noyau atomique).

En 1967 les pulsars étaient découverts par un groupe de radioastronomes de Cambridge et aussitôt identifiés (1969) aux étoiles à neutrons par T. Gold. Les pulsars sont des sources intenses de rayonnement divers qui sont observés sous forme d'impulsions périodiques extrêmement stables.

Voilà donc brièvement résumée l'histoire de la découverte des étoiles à neutrons. En réalité, celle-ci est loin d'être aussi simple; c'est pourquoi nous avons indiqué sur un diagramme comment théorie, expérience et observation se sont conjuguées pour aboutir au consensus qui règne actuellement dans la communauté astrophysique quant à l'existence des étoiles à neutrons et à leur identification aux pulsars. Nul doute que le lecteur y trouvera matière à quelques réflexions philosophiques sur la complexité de

LES TROIS STADES FINAUX DE LA VIE D'UNE ETOILE

L'existence et l'évolution des étoiles sont conditionnés par l'ajustement successif de deux facteurs antagonistes. D'une part la masse de l'étoile tend à la faire s'effondrer sur elle-même tandis que, d'autre part, la pression des matériaux brûlés dans des réactions thermonucléaires complexes s'oppose à cet effondrement. Si le premier facteur l'emporte, l'étoile s'effondre; si, au contraire, la pression prédomine, elle peut exploser.

Considérons, pour fixer les idées, une étoile qui initialement serait composée d'hydrogène. Sous l'effet de son propre poids elle commencerait à s'effondrer. L'hydrogène qui la compose est alors comprimé et s'échauffe. Arrive ensuite un moment où la température atteinte est suffisamment importante pour que des réactions de fusion thermonucléaire se produisent conduisant à la formation d'hélium. Ces réactions dégagent de l'énergie, échauffent encore le matériau constitutif de l'étoile et la pression qui en résulte stoppe l'effondrement. Cet équilibre de l'étoile, qui ne s'effondre donc plus, dure tant qu'il existe de l'hydrogène à "brûler". Lorsque celui-ci s'épuise, l'étoile recommence à s'effondrer...jusqu'à ce que la température à laquelle les noyaux d'hélium puissent brûler à leur tour dans des réactions thermonucléaires soit atteinte, dégageant de l'énergie et maintenant un nouvel équilibre pour l'étoile. Et ainsi de suite. Par l'intermédiaire de réactions complexes, il est possible d'obtenir du fer 56 qui, lui, ne peut brûler qu'en absorbant de l'énergie au lieu d'en produire, rendant l'effondrement inéluctable.

La mort d'une étoile représente cependant un processus complexe, dont tous les détails ne sont pas encore bien connus et qui, en tout état de cause, dépend étroitement des conditions initiales (masse, composition chimique, température). En particulier les trois stades finaux possibles - trou noir, naine blanche et étoile à neutrons (figure 1) correspondent à des conditions initiales différentes.

Les naines blanches ont longtemps posé une énigme aux astrophysiciens: par quel mécanisme physique peut-on engendrer la "pression absurde" (A.S. Eddington) nécessaire à leur équilibre? Leur très grande densité (10^5 à 10^8 g cm⁻³) et leurs masses (de l'ordre d'une masse solaire) exigeaient en effet une pression énorme pour en assurer l'équilibre. Ce problème ne fut résolu qu'en 1926 par R.H. Fowler qui comprit le premier que la pression de Fermi des électrons à haute densité était précisément cette pression "absurde".

Les étoiles à neutrons représentent un autre état final possible de l'évolution stellaire. On pense actuellement qu'elles se forment lors de l'explosion d'une supernova: les couches externes de l'étoile sont soufflées par des réactions thermonucléaires explosives tandis que le coeur de l'étoile, d'une composition différente, continue à s'effondrer sur lui-même jusqu'à ce que la plupart des électrons de la matière soient absorbés par les protons des noyaux pour donner essentiellement des neutrons (figure 2).

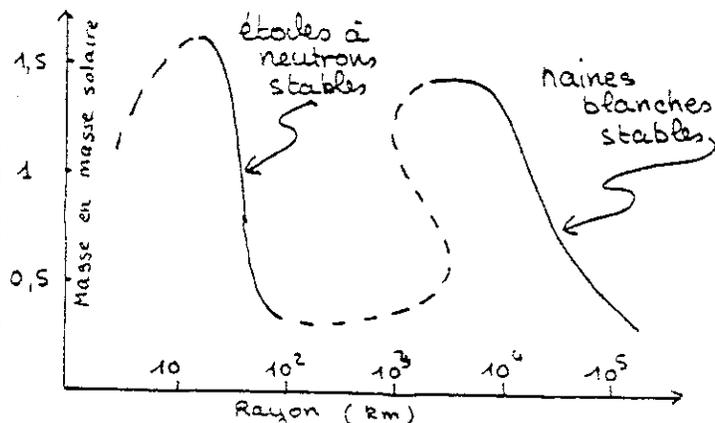


Figure 1

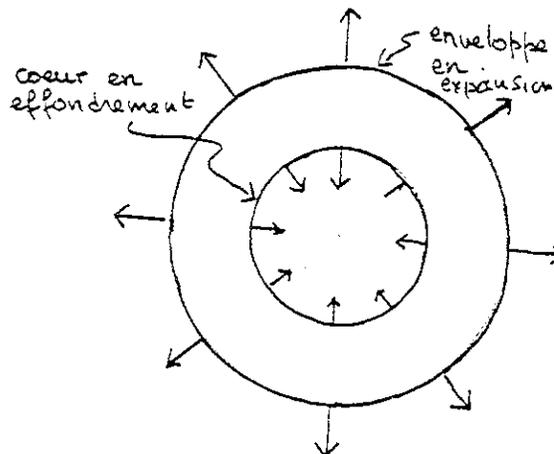


Figure 2

LA NEBULEUSE DU CRABE

La nébuleuse du Crabe joue un rôle très particulier - et même essentiel - dans l'identification des pulsars aux étoiles à neutrons et, comme nous le verrons plus loin, dans l'élimination d'hypothèses un instant plausibles concernant les pulsars. Aussi convient-il d'en dire quelques mots.

La nébuleuse du Crabe constitue le reste de l'explosion d'une supernova, explosion observée en 1054 par les astronomes chinois, coréens et japonais.

Voici en quels termes l'astronome impérial Yang Wei-Té le rapporte en 1054: "j'ai observé le phénomène d'une étoile-invitée. Sa couleur était légèrement irisée. Suivant un ordre de l'Empereur, je fis respectueusement la prédiction que l'étoile-invitée ne perturberait pas Aldébaran ... Ceci indique que ... le pays aura une grande puissance. Je sollicite la permission d'inscrire cette prédiction dans les Archives Impériales."

Cette explosion était visible à l'oeil nu et l'était restée pendant plusieurs mois avant de disparaître; d'où le nom d'"étoile-invitée" ou d'"étoile-hôte" que donnaient les chinois à ce type d'objet astronomique.

Cependant, loin d'être une étoile "nouvelle" une supernova signale plutôt la mort d'une étoile; les couches externes de l'étoile explosent et sont projetées dans l'espace tandis que le coeur s'effondre sur lui-même donnant lieu, ainsi que l'ont suggéré W. Baade et F. Zwicky en 1932 à une étoile à neutrons: "Avec toutes réserves, nous suggérons l'idée qu'une supernova représente la transition d'étoiles ordinaires en étoiles à neutrons..." Il s'agit d'un évènement relativement rare puisqu'une telle explosion se produit tous les 20 ou 30 ans dans notre galaxie. Malgré cela, elles ne sont pas toutes observées car la plus grande partie de la Voie Lactée (notre Galaxie) nous est cachée par d'énormes nuages de poussière interstellaire: c'est ainsi que Cassiopée A est une radiosource qui aurait dû être observée comme une supernova il y a deux ou trois siècles, n'était cette poussière. Outre l'explosion de 1054, d'autres tels phénomènes ont été observés en 1572 par l'astronome danois Tycho Brahé et en 1604 par Kepler. Les archives des astronomes impériaux chinois en indiquent encore en 1006, probablement en 1181 et 135 et peut-être en 386 et 393.

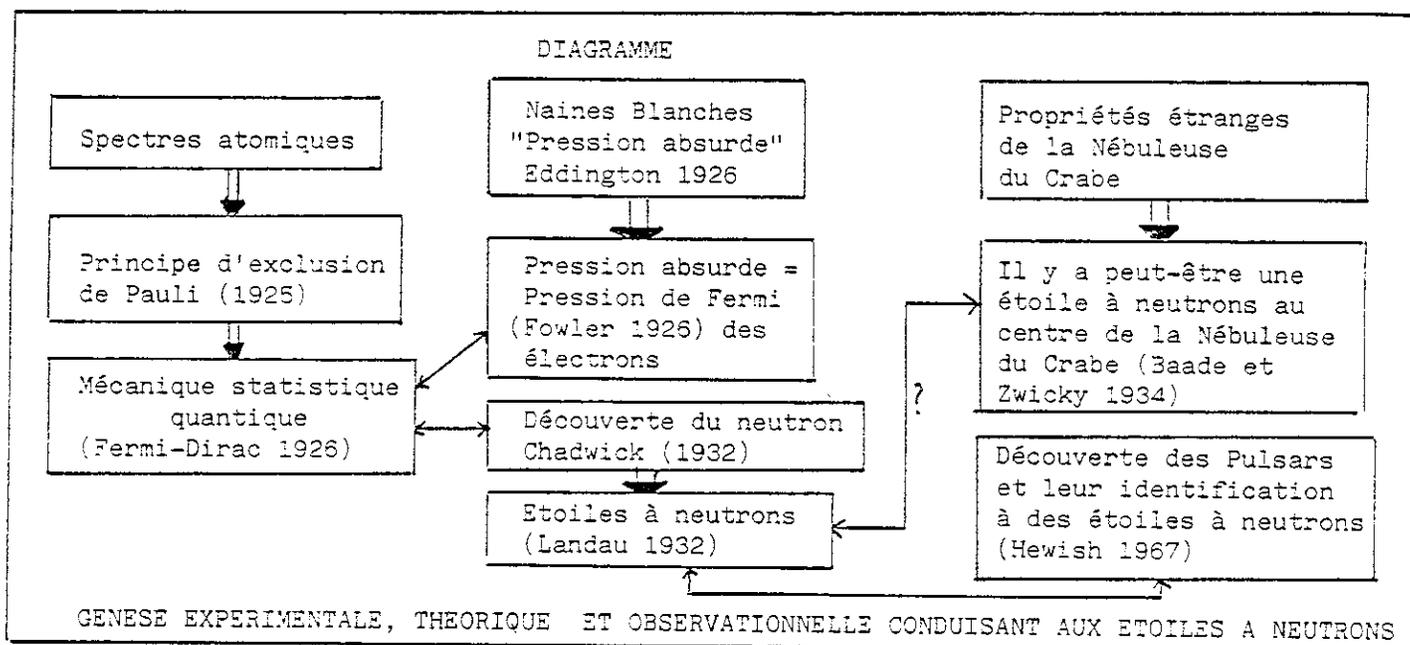
La nébuleuse du Crabe apparaît actuellement comme une masse brillante ayant une structure filamenteuse lorsqu'on en étudie les clichés pris dans la raie H α de l'hydrogène. En outre, on constate qu'elle s'épand rapidement avec une vitesse de l'ordre de 800 km s⁻¹: ceci est d'ailleurs perceptible sur des clichés pris à plusieurs années d'intervalle. Elle est située à la distance de 2 000 parsecs (un parsec est égal à 3,26 années de lumière). Le rayonnement émis par la nébuleuse du Crabe dans le domaine visible est fortement polarisé, ce qui est très caractéristique du rayonnement synchrotron (rayonnement émis par des électrons de très haute énergie spiralant dans un champ magnétique). La puissance totale émise dans le domaine des rayons X conduit à une estimation de l'intensité du champ magnétique de l'ordre de 2 x 10⁻⁴ gauss et des énergies moyennes pour les électrons responsables du rayonnement synchrotron de l'ordre de 10¹⁰ électrons volts. Le débit total d'énergie peut être estimé à environ 10³⁸ erg s⁻¹.

A peu près au centre de la nébuleuse se trouvent deux étoiles dont l'une, appelée d'abord l'objet de Baade, possède des propriétés inhabituelles: pas de raies mais au contraire un spectre en loi de puissance.

Dès 1934 se posait le problème qui a longtemps défié les astrophysiciens et qui sera résolu par l'identification de l'objet de Baade avec le pulsar du Crabe, l'étoile à neutrons envisagée par W. Baade et F. Zwicky. Le problème est que les électrons perdent de l'énergie en rayonnant, de sorte que leur durée de vie est, pour les énergies mises en jeu et l'intensité du champ magnétique de la nébuleuse du Crabe, de l'ordre de 10 ans seulement: il fallait donc trouver une source à peu près constante d'électrons "frais" qui permettent d'assurer la permanence du rayonnement observé. C'était là la principale raison de l'hypothèse de Baade et Zwicky en 1932.

la découverte scientifique et son cheminement tortueux. Ce n'est pas cependant dans le but de susciter de telles réflexions que nous donnons ce diagramme, mais plutôt d'éclairer ce qui va suivre: un exposé d'une question passablement enchevêtrée risque en effet d'être un peu déroutant...

Toutefois, la théorie des étoiles à neutrons et l'observation des pulsars sont très loin d'être achevées, très loin d'entrer dans le domaine des recherches de routine, car les physiciens disposent là d'un "laboratoire" unique où les avancées extrêmes de leurs spécialités peuvent parfois être testées. C'est pourquoi les recherches effectuées dans ce domaine sont extrêmement actives, qui portent aussi bien sur la physique nucléaire, des particules élémentaires et bien d'autres spécialités: on peut presque dire que chaque progrès de ces domaines de pointe suscite des applications aux étoiles à neutrons. De même les progrès constants de l'astronomie X et gamma, notamment ceux attendus d'expériences embarquées sur la navette spatiale (ou Spacelab) permettront de mieux comprendre encore ces passionnants objets et poseront, bien entendu de nouveaux problèmes.



Rémi Hakim

WILLIAM HERSCHEL ET URANUS

C'est l'astronome William Herschel qui découvrit, par hasard, la planète Uranus; vous le saviez peut-être. Mais savez-vous quel nom Herschel lui avait donné ?

Et qui baptisa la nouvelle planète du nom d'Uranus ?

Réponse: William Herschel avait donné à "sa" planète le nom de "Georgium sidus" du nom du roi Georges III d'Angleterre. Herschel était en effet l'astronome du roi Georges III. Le nom d'Uranus, dérivé de Ouranos, dans la mythologie grecque, fut choisi par Bode. Ouranos, fils de Gaia était le père des Cyclopes, des Titans et des monstres. Dieu du ciel, il fut détroné par son fils Cronos.

DE NEWTON A KEPLER
AVEC LA CALCULETTE DU PHYSICIEN .

L'objet de cet article est d'apporter quelques compléments à l'article de JP ROSENSTIEHL publié dans le n° 21 des Cahiers Clairaut , sous le titre : " De Newton à Kepler ... avec une calculette "

L'étude proposée des trajectoires des astres du système solaire par une méthode numérique est en effet extrêmement intéressante . En cours de physique cependant il serait dommage de ne pas rendre plus concrets les résultats obtenus :

- .en définissant le système d'unités utilisé
 - .en donnant des valeurs numériques parlantes pour les différentes planètes ou comètes qui décrivent des ellipses autour du Soleil
- Voilà les deux objectifs de mon propos .

UN SYSTEME D'UNITES COHERENT ET COMMDEE :

JP ROSENSTIEHL part bien sûr de la loi de Newton : $\vec{F} = \frac{-GmM}{r^2} \vec{u}$

Sur deux axes cartésiens , les équations du mouvement sont :

$$\frac{dv_x}{dt} = - GM \frac{x}{r^3} \quad \text{et} \quad \frac{dv_y}{dt} = - GM \frac{y}{r^3} \quad M \text{ étant la masse du Soleil}$$

L'auteur nous dit : " par un choix d'unités , posons GM = 1 " . Posons nous donc la question :

"Quelles unités doit on choisir pour que la valeur de GM soit 1 ?"

Quelles grandeurs sont utilisées ? Trois grandeurs fondamentales : masse , distance , temps , et une grandeur dérivée , la vitesse .

Dans le système international , les unités correspondantes sont le kilogramme , le mètre et la seconde (donc le m/s) . Dans ce système GM vaut $1,327 \cdot 10^{20}$.

Pour parler du système solaire il est naturel de garder le kilogramme comme unité de masse et de prendre l'unité astronomique (UA) , le rayon de l'orbite terrestre, comme unité de distance . Dès lors , la nouvelle unité de temps est imposée par la condition GM = 1 . Calculons en secondes cette nouvelle unité de durée .

Ecrivons l'équation aux dimensions . D'après $\frac{dv}{dt} = -GM \frac{x}{r^3}$ on peut écrire :

$$L T^{-2} = GM \cdot L \cdot L^{-3} \quad \text{soit} \quad GM = L^3 \cdot T^{-2} \quad (1)$$

Appelons L , T et (GM) les unités et valeur de GM dans le système international et L' , T' et (GM)' les mêmes grandeurs dans notre système (où donc (GM)' vaut 1)
D'après (1) on a :

$$\frac{(GM)'}{(GM)} = \left(\frac{L'}{L}\right)^3 \left(\frac{T'}{T}\right)^{-2} \quad \text{Donc} \quad \left(\frac{T'}{T}\right)^{-2} = \frac{(GM)'}{(GM)} \left(\frac{L'}{L}\right)^{-3}$$

$$\text{Ici } (GM)' = 1 \quad (GM) = 1,327 \cdot 10^{20} \text{ uSI} \quad L' = 1 \text{ UA} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

On trouve donc $T' = 5,04 \cdot 10^6 \text{ s} = 58,4 \text{ jours}$

Cela nous conduirait donc à prendre comme unité de durée cette valeur de 58,4 j soit à peu près deux mois . C'est une valeur très intéressante car elle correspond bien aux durées astronomiques . Nous la conserverons donc .

- Récapitulons ; les valeurs dont nous allons parler dans la suite seront exprimées :
- . en kilogrammes pour les masses
 - . en unités astronomiques pour les distances

. en "double mois" (1 dm = 58,4 j) pour les durées
 . en km/s (qui parle mieux à l'esprit) et en UA/dm (pour la coherence des calculs)
 pour ce qui concerne les vitesses .

CALCUL DES ELEMENTS DES ORBITES

Le programme , très général , de JP ROSENSTIEHL , suppose connues la position initiale P_0 de l'astre , donnée par ses coordonnées X_0 et Y_0 ; et sa vitesse initiale \vec{V}_0 (V_{X0} et V_{Y0}) . P_0 et \vec{V}_0 peuvent être absolument quelconques .

Cependant il est plus parlant de donner aux élèves comme position initiale le point où l'astre est le plus éloigné du Soleil , l'aphélie . Or , en général , les ouvrages facilement accessibles ne donnent pas la vitesse à l'aphélie (qui a la gentillesse de se trouver perpendiculaire au rayon vecteur) qui est la vitesse minimale de l'objet sur son ellipse trajectoire .

Les calculs qui suivent visent donc à calculer la distance à l'aphélie et la vitesse à l'aphélie à partir des données accessibles : les distances à l'aphélie et au périhélie pour les planètes ; le demi-grand axe a et l'excentricité e pour quelques comètes .

Il est hors de question de faire exécuter ces calculs aux élèves de lycée ; ils sont là pour justifier les valeurs numériques données par la suite . Ceci bien sur dans notre système d'unité .

1) CAS DES PLANETES :

En coordonnées polaires , le Soleil étant au centre des coordonnées , l'équation de la trajectoire est :

$$(2) \quad r = \frac{p}{1 - e \cdot \cos \theta}$$

p paramètre e excentricité

A l'aphélie (et au périhélie) , r est extrême , donc la vitesse radiale $\frac{dr}{dt}$ est nulle et la vitesse se réduit à la vitesse tangentielle $r \frac{d\theta}{dt}$.

Le mouvement est dû à une force centrale (l'attraction gravitationnelle) , z donc le moment cinétique est constant , donc

$$mr^2 \frac{d\theta}{dt} = C \quad \frac{d\theta}{dt} = \frac{C}{mr^2} \quad (3) \quad \text{quelque soit } r$$

Il y a une deuxième constante dans ce mouvement : l'énergie totale du système constitué par le Soleil et la planète , système isolé en première - et bonne - approximation . L'énergie totale est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de gravitation . Elle vaut :

$$E = \frac{1}{2} mr^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 - \frac{GMm}{r}$$

Si cette quantité E est constante , elle prend la même valeur au périhélie et à l'aphélie . Donc :

$$\frac{1}{2} m r_M^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)_M^2 - \frac{GMm}{r_M} = \frac{1}{2} m r_m^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)_m^2 - \frac{GMm}{r_m}$$

r_M distance à l'aphélie
 r_m distance au périhélie

A partir de cette relation , et en tenant compte de (2) et (3) on arrive sans difficulté à :

$$C^2 = m^2 GMp \quad \text{soit} \quad C = m \sqrt{GMp}$$

D'après (3) la vitesse tangentielle que nous prendrons par la suite comme vitesse initiale est donc :

$$V_0 = \frac{\sqrt{GMp}}{r}$$

Dans notre système d'unité , GM vaut 1 * . Donc enfin $V_0 = \frac{\sqrt{p}}{r_M}$

Reste à calculer p ; c'est évident :

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{r_M} &= \frac{1-e}{p} \\ \frac{1}{r_m} &= \frac{1+e}{p} \end{aligned} \right\} p = 2 \frac{r_M r_m}{r_M + r_m}$$

Pour les valeurs numériques , à partir de r_M et r_m donnés dans la littérature , on calculera p puis V_0 .

2) CAS DES COMETES :

Pour une comète en général on donne le demi grand axe et l'excentricité de l'orbite . On va appliquer les mêmes formules que celles démontrées au paragraphe précédent . Il suffit alors de calculer le paramètre p et la distance à l'aphélie r_M en fonction de a et e .

Le calcul du paramètre est simple : $r_M + r_m = 2a$

$$\frac{p}{1-e} + \frac{p}{1+e} = 2a$$

Donc $p = a(1 - e^2)$

Par ailleurs $r_M = \frac{p}{1-e} = a(1+e)$

Donc $V_0 = \frac{\sqrt{p}}{r_M} = \frac{1}{a} \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$

DONNEES NUMERIQUES

1) PLANETES :

Planète	Aphélie UA	Vitesse à l'aphélie		Période	
		UA/dm	km/s	dm	j/an
Mercure	0,47	1,29	38,7	1,51	88j
Venus	0,73	1,16	34,8	3,87	224,7 j
Terre	1,017	0,98	29,5	62,9	365,26 j
Mars	1,67	0,74	22,2	11,8	687 j
Jupiter	5,45	0,42	12,6	74,6	11,86 ans
Saturne	10,1	0,31	9,3	185,2	29,46 ans
Uranus	20,1	0,218	6,6	528	84,01 ans
Neptune	30,3	0,181	5,4	1036	164,8 ans
Pluton	49,3	0,123	3,69	1557	247,7 ans

2) COMETES

Comète	Aphélie UA	Vitesse à l'aphélie		Période	
		UA/dm	km/s	dm	j ou an
Encke	4,08	0,194	5,82	20,7	3,3
Tsu Chi Chan	5,40	0,303	9,09	42,7	6,8
Halley	35,3	0,0306	0,92	478	76,09
Grigg-Mellish	59,1	0,0229	0,69	1033	164,32

EXEMPLE D'UTILISATION : PLUTON

La plupart des planètes ont des orbites presque circulaires, peu intéressantes à tracer dans la mesure où elles ne se distinguent pas, à l'échelle du dessin, d'un cercle. Pluton est l'exception.

Les conditions initiales sont

$$\begin{cases} X_0 = 49,3 \text{ UA} \\ Y_0 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} V_{X_0} = 0 \\ V_{Y_0} = 0,123 \text{ UA/dm} \end{cases}$$

On trace un repère cartésien sur une feuille 21x29,7 à l'échelle 1 cm = 3 UA. Comme pas de calcul on prend T = 50 dm.

On trouve une période de révolution comprise entre 1550 dm (X = 49,2 UA ; Y = - 4,63 UA) et 1600 dm (X = 48,7 UA ; Y = 1,58 UA). Alors que la période théorique est 1557 dm : résultat donc satisfaisant.

A noter qu'il ne faut pas être trop pressé, et prendre un pas de calcul trop grand devant la période : l'ellipse ne se ferme pas. Il faut au plus un pas 30 fois plus petit que la période.

Christian BUTY

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

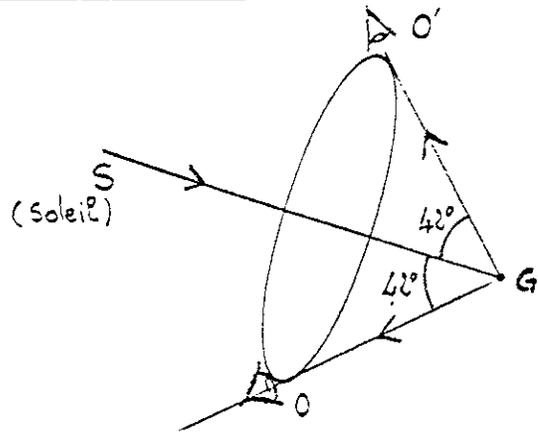
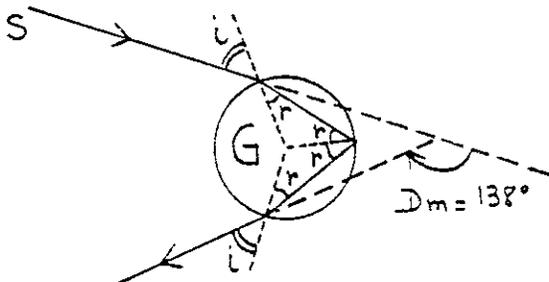
LA STRUCTURE DE L'UNIVERS A GRANDE ECHELLE : LE VIDE DU BOUVIER.

S'il est bien clair depuis la découverte des galaxies que l'Univers observé n'est pas homogène à l'échelle des galaxies et des amas de galaxies, c'est plus récemment que la structure à plus grande échelle que constituent les superamas a été reconnue. Que sait-on aujourd'hui de la taille caractéristique des plus grandes structures dans l'Univers ? Cette question est importante pour la cosmologie car elle détermine l'échelle à laquelle il faut se placer pour pouvoir considérer l'Univers comme un "fluide homogène" et elle pose le problème de l'origine et de la formation de ces hétérogénéités. Durant ces dernières années d'importants travaux systématiques ont été réalisés sur de grands échantillons de galaxies. En particulier la mesure de la vitesse radiale est fondamentale car elle permet de localiser la galaxie en utilisant la loi de Hubble comme indicateur de distance (distance = vitesse / H₀ où H₀ est la constante de Hubble; on utilisera ici H₀ = 75 kms⁻¹ Mpc⁻¹; 1 Mpc = 3,26 millions d'années de lumière). En 1981, une étude de 133 galaxies situées dans la direction de la constellation du Bouvier, dans plusieurs champs, jusqu'à des vitesses de 50000 kms⁻¹, a révélé qu'il existait une zone quasiment vide de galaxies entre 12000 et 18000 kms⁻¹. Ce domaine de 6000 kms⁻¹ correspond à une extension en profondeur de 80 Mpc. Par ailleurs, ce vide est observé sur une extension perpendiculaire à la ligne de visée de ≈30°, ce qui correspond à une dimension linéaire de ≈110 Mpc à la distance moyenne où se trouve ce vide (15000 km s⁻¹ correspond à 200 Mpc). Ces résultats indiquent la présence d'une vaste région vide de galaxies dont le volume est de l'ordre du million de Mpc³. Une récente étude plus détaillée dans 282 petits champs couvrant cette région, a bien confirmé l'existence de ce vide intergalactique géant dont le diamètre est de l'ordre de 100 Mpc. Cette dimension caractéristique est aussi celle des superamas -en structure filamentaire- qui entourent les vides et où se concentre la matière.

L. Bottinelli

REPONSE A UNE QUESTION SUR L'ARC EN CIEL

1/ Rappel de quelques notions.



Il y a déviation minimale (pour le rouge $D_m = 138^\circ$), donc accumulation de lumière. La goutte G paraît rouge pour l'observateur O. Le raisonnement est valable pour tout plan passant par SG, donc infinité de plans. (Le plan de figure est parmi ces plans celui qui contient le centre optique de l'œil de l'observateur.)

Donc chaque goutte envoie des rayons répartis sur un cône de révolution d'axe SG et de demi angle au sommet $\alpha = 180 - D_m = 42^\circ$ pour le rouge.

L'observateur placé en O observera ces rayons rouges sur toutes les gouttes situées sur un cône de révolution d'axe S'OS'' et de demi-angle d'ouverture 42° .

Donc l'observateur verra un arc de cercle rouge de rayon 42° dans la partie du ciel opposée au Soleil. L'arc est centré sur une ligne joignant S à l'observateur et ne sera visible que si la hauteur β du Soleil au-dessus de l'horizon est inférieure à $\alpha = 42^\circ$.

(Agnès Acker, CC n°1 ; Daniel Bernard, CC n° 3)

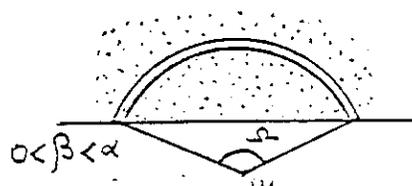
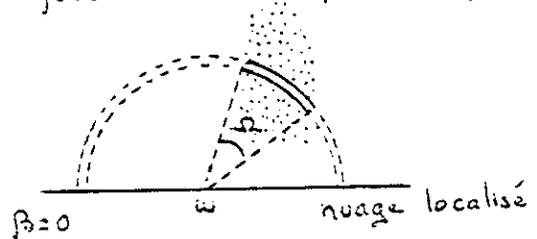
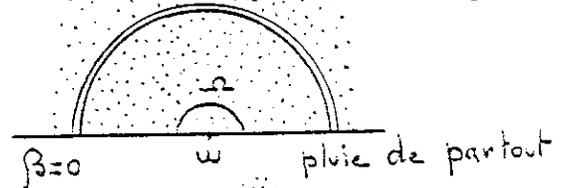
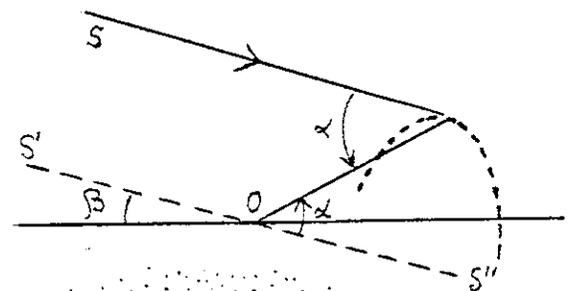
Cet arc n'est visible ni de biais, ni de profil, il apparaît toujours circulaire et de même diamètre apparent. Il n'y a pas de petits, ni de grands arcs en ciel, c'est à dire de petits ou de grands rayons angulaires.

Par contre, l'étendue de l'arc mesurée par son angle au centre ω est liée à la présence ou l'absence de gouttes de pluie. On voit que cet angle est lié à β hauteur du Soleil.

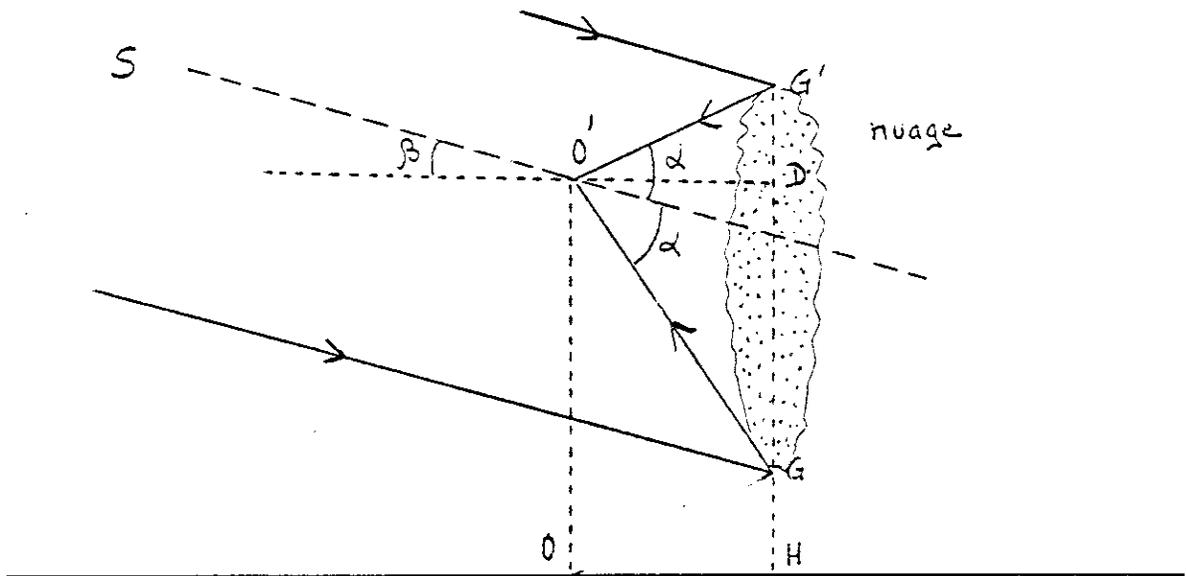
Enfin son intensité lumineuse en chaque point croît avec la densité de gouttes en ce point.

Le point culminant de l'arc a pour hauteur $\alpha - \beta$. Si β tend vers zéro (coucher du Soleil) l'arc tend vers la demi-circonférence qui est un maximum; par contre si le Soleil est trop haut $\beta \geq \alpha$ pas d'arc possible.

En résumé: ciel d'orage à l'Est, nimbus avec pluie violente et dense; Soleil qui brille à l'Ouest, pas trop haut sur l'horizon; phénomène fugitif, souvent partiel, variable en intensité; phénomène propre à chaque observateur qui paraît l'accompagner s'il se déplace en voiture ou en avion. (F. Prêtre BUP n° 560).



2/ Que verra un observateur placé en O' en altitude? (2000 m par exemple).
 Nous le supposons sur la même verticale qu'un observateur O placé au niveau du sol et nous prendrons $\beta = 12^\circ$.



Remarquons d'abord que le cône de révolution peut se développer entièrement autour du sommet O' (œil de l'observateur), il n'est pas limité par le sol, ce qui est le cas pour l'observateur O.

Mais il faut qu'il y ait des gouttes de pluie jusqu'en G et G', positions extrêmes pour avoir un cercle entier.

Les calcul ci-contre donne G G', hauteur minimale du nuage de pluie et GH altitude de la base de ce nuage.

$$\begin{aligned} DG' &= O'D \operatorname{tg} (\alpha - \beta) \\ DG &= O'D \operatorname{tg} (\alpha + \beta) \\ GG' &= O'D [\operatorname{tg} (\alpha - \beta) + \operatorname{tg} (\alpha + \beta)] \\ GH &= DH - DG = O'O - O'D \operatorname{tg} (\alpha + \beta) \end{aligned}$$

(ou de la base du cercle coloré)

Ce qui donne pour les valeurs choisies

$$\beta = 12^\circ \quad O'O = 2\,000\text{m}, \quad O'D = 1\,000\text{m}$$

$$\begin{aligned} GG' &= 1\,000 (\operatorname{tg} 30^\circ + \operatorname{tg} 54^\circ) \\ &= 1\,000 (0,577 + 1,376) \\ &\approx 2\,000 \text{ m} \end{aligned}$$

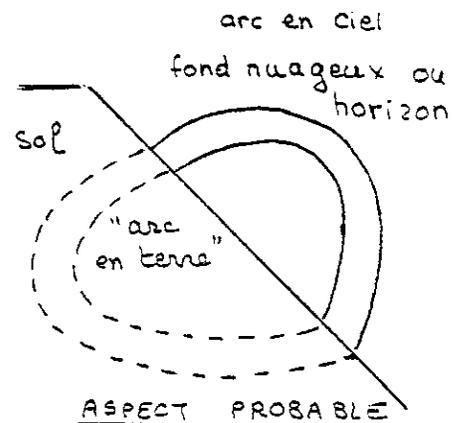
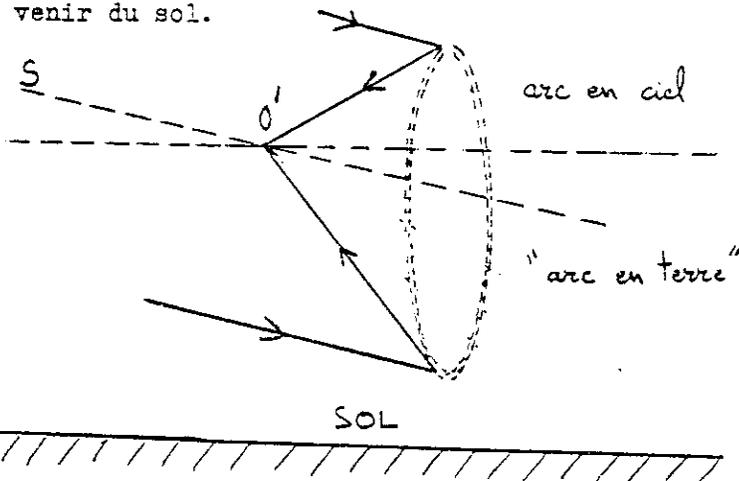
$$GH = 2\,000 - 1\,000 \operatorname{tg} 54 = 624 \text{ m}$$

Remarque: Si O'D augmente, G, base du cercle coloré se rapproche du sol.

Si $DG = DH = O'O$ on a $O'D = \frac{O'O}{\operatorname{tg}(\alpha+\beta)}$ $O'D = \frac{2\,000}{1,376} = 1\,453 \text{ m}$, distance maximale

entre l'observateur et le nuage de pluie pour obtenir un cercle coloré complet.

Même si ces conditions sont réalisées, l'observateur ne verra pas pour autant un "cercle en ciel", car toute la partie du cône de sommet O' située sous le plan horizontal passant par O' ne se découpe pas sur un fond de nuages, mais sur le sol; chaque génératrice de cette partie du cône de lumière semble en effet provenir du sol.



Si bien que l'arc en ciel vu de O' a la même ouverture Ω que celui vu de O.
 Je ne sais pas quel aspect doit avoir "l'arc en terre": les gouttes colorées existent et envoient de la lumière dans l'oeil de l'observateur O'; mais se détachent-elles bien du fond multicolore que constitue le paysage terrestre ?
 Je me souviens avoir vu une partie d'arc en ciel sur un bâtiment et sur un terril, mais il fallait bien regarder pour voir cette partie.

En tenant compte de la rotondité de la Terre, on pourrait observer un "cercle en ciel" à condition d'être à une altitude de 4488 km !!!

Victor TRYOEN.

"N D L R": L'observation d'un arc en ciel est liée à quelques conditions favorables: une zone pluvieuse éclairée par le Soleil, l'observateur se trouvant entre les deux. D'autre part la portion d'arc visible est d'autant plus grande que le Soleil est bas sur l'horizon. De telles conditions sont aisément réalisables artificiellement avec un système d'arrosage de jardin réglé en pluie fine. En se plaçant entre le Soleil et la zone arrosée, on observe l'arc en ciel. Pour un Soleil rasant, on peut pratiquement observer un "cercle en ciel", à l'ombre près de l'ombre de l'observateur.

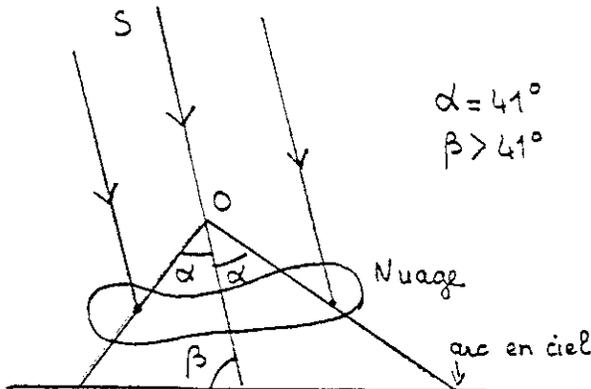
Les gouttes qui se trouvent à la base du nuage produisent un arc en ciel pour l'observateur O. Pourquoi ne produiraient-elles pas un "arc en terre" pour O'? Pourtant, il semble que personne n'ait observé un "cercle en ciel" ou tout au moins un "arc en terre" dans le sens du schéma.
 Peut-être que nos lecteurs pourront apporter un complément d'informations.

A PROPOS DE L'ARC EN CIEL

Dans le numéro 24 des Cahiers, Jean Ripert se demandait s'il était possible d'observer un "cercle en ciel", c'est-à-dire la dispersion de la lumière du Soleil par des gouttes de pluie situées en dessous de l'observateur.

La réponse se trouve dans l'un des deux articles très complets sur l'arc en ciel qu'un de nos collègues, F. Pretre, a publiés dans le Bulletin de l'Union des Physiciens et qui sont indiqués en référence. Je cite:

"Un de nos collègues, M. Cance, a eu l'amabilité de me faire savoir qu'il a observé, il y a fort longtemps, un arc en ciel d'aspect inhabituel et très spectaculaire, alors qu'il survolait en avion les îles Baléares. L'arc coloré s'étendait sur un cercle entier, ... et ce cercle, d'un diamètre apparent constant (82 degrés en moyenne) paraissait immobile à l'observateur, tout en restant centré sur l'ombre portée de l'avion, ombre qui défile sur la terre et sur la mer."



le raisonnement de Jean Ripert était donc tout à fait correct: il est possible de voir l'arc en ciel au dessous de soi. D'ailleurs, à la différence d'une observation faite du sol, on peut observer l'arc en ciel même si le Soleil est plus haut que 41° au dessus du sol: c'est la description de M. Cance, qui correspond au dessin ci-contre.

Christian BUTY

Références:

- * L'arc en ciel, F. Pretre, BUP n°560 (déc. 1973) page 359-368
- * Complément sur l'arc en ciel, F. Pretre, BUP n°581 (fév. 1976) page 549-554

Lecture de Kepler (3)

Achevons la lecture commentée de la "Conversation avec le messager céleste". Après avoir longuement discuté de la lunette puis des observations de la Lune, Kepler traite, dans les deux dernières parties, des étoiles et des satellites de Jupiter. Ainsi aura-t-il passé en revue tous les sujets qui préoccupent, à l'époque, les astronomes. En passant, cela nous fait mesurer le chemin parcouru par la recherche en 374 ans : autant de changements dans l'appareillage que dans la problématique.

Etoiles et planètes

Surprise pour l'observateur qui pour la première fois met l'oeil à la lunette -le cas de Kepler en 1610 est le même que celui de l'amateur débutant en 1984 - Jupiter ou Mars apparaissent avec un diamètre apparent notable, et même, pour Vénus, on constate tout de suite des phases, alors que les étoiles ne paraissent plus comme des astres "chevelus" ainsi qu'à l'oeil nu mais comme des points très brillants. Ce qui ne surprend quand même pas trop Kepler : "Je l'ai appris d'une longue expérience, au crépuscule, à l'aube, à travers un léger nuage ou un verre coloré."

Que les étoiles paraissent à la lunette si brillantes et ponctuelles, K y voit la preuve que ce sont des soleils qui émettent de la lumière, alors que les planètes sont seulement éclairées par le Soleil. Justification bien sommaire mais K passe vite, ce qui lui paraît important c'est le nombre d'étoiles visibles à la lunette : dix fois plus nombreuses que les mille étoiles connues des Anciens. Suivez son raisonnement :

"Plus nombreuses sont les étoiles, plus forte est mon argumentation contre l'infinité de l'Univers ainsi que je l'ai présentée au chapitre 21 de mon livre sur l'étoile nouvelle (*). Cette argumentation prouve que là où nous autres pauvres mortels demeurons, dans la compagnie du Soleil et des planètes, c'est le coeur premier de l'Univers. D'aucune des étoiles fixes on n'aurait une vue de l'Univers comme il est possible de l'avoir à partir de notre Terre ou même à partir du Soleil."

L'affirmation nous surprend. Mais rappelons-nous que K sous-estime d'une façon énorme la distance des étoiles fixes ; au début du XVII^e siècle, la parallaxe du Soleil est encore surestimée et l'on n'a pas la moindre idée de ce que pourrait être la parallaxe annuelle d'une étoile. Ce qui n'empêche pas K d'avoir raison sur un point : depuis Véga (ou depuis toute autre étoile), on aurait une vue très différente des constellations, un groupe de travail l'a étudiée, justement en partant de Véga.

Autre idée curieuse de Kepler, il imagine que mille étoiles ayant chacune un diamètre apparent de une minute d'angle, si elles étaient réunies, formeraient une surface supérieure à celle du disque solaire ; or la nuit, ces mille étoiles nous éclairent moins que le Soleil. Pour Kepler, les étoiles sont des petits soleils. Rien de commun, en tout cas, entre l'idée qui précède et l'argumentation qui conduit au paradoxe d'Olbers.

Et ce qui compte le plus pour Kepler, c'est la conviction que le système solaire est au centre de l'Univers

La Voie Lactée Kepler félicite Galilée d'avoir reconnu que la Voie Lactée était composée d'étoiles en très grand nombre. C'était déjà l'avis de Démocrite et Kepler l'avait reprise dans sa "Défense de Tycho" parue en 1600.

On ne pourra plus prétendre, ajoute K, que les "étoiles nouvelles" ainsi que les comètes se forment à partir des matériaux de la Voie Lactée. C'était la thèse défendue par Tycho à propos de la nova de 1572 et Kepler paraissait se rallier à cette explication. Mais maintenant, après avoir lu le Sidereus Nuncius, il l'abandonne définitivement.

Les satellites de Jupiter Kepler se réjouit que Galilée ait découvert des satellites et non pas de nouvelles planètes ; celles-ci auraient perturbé sa conception sur l'harmonie du système solaire, le système des six planètes s'accordant aux cinq polyèdres réguliers ainsi qu'il l'avait exposé dans le Prodnomus en 1595. Alors Kepler est donc un homme comme les autres, il tient à ce modèle qu'il a imaginé alors qu'en 1609 il a publié l'Astronomie nouvelle ; comment concilier les orbites elliptiques et le système des sphères emboîtées ? Kepler sait bien qu'on ne peut inscrire une ellipse sur une sphère. Les idées a priori ont une grande force...

Kepler se réjouit aussi que la découverte des satellites ne porte pas atteinte aux règles de l'astrologie ; celles-ci sont fondées (si l'on peut dire, mais K y reste attaché) sur les "aspects" des planètes, c'est à dire leurs positions respectives et leurs situations dans les constellations zodiacales. Que Jupiter soit une planète isolée ou accompagnée d'un ensemble de satellites très proches, rien de changé pour l'établissement des horoscopes. Nous n'aurions évidemment pas songé à cette remarque mais Kepler n'oublie pas que ces horoscopes lui apportent quelques subsides.

La Lune, vue de Jupiter ou de Saturne, s'écarte bien peu de la Terre ; Kepler donne des valeurs inexactes parce qu'il ne dispose pas d'une bonne valeur de la distance Terre-Soleil ; amusez-vous donc à corriger son estimation : selon lui, la Lune s'écarte de la Terre de 18' ou 12', vue de Saturne, de 36' ou 24' vue de Jupiter, deux valeurs maximales différentes selon que ces planètes sont en conjonction ou en opposition. "La conclusion, écrit Kepler, est tout à fait claire. Notre Lune existe pour nous, sur la Terre, non pour les autres globes. Ces quatre petites lunes existent pour Jupiter, non pour nous. Chaque planète avec ses habitants est servie par ses propres satellites. D'après ce raisonnement, nous en déduisons avec le plus haut degré de probabilité que Jupiter est habitée." Cette conception finaliste des satellites m'a paru tellement surprenante que je n'ai pas résisté au plaisir de la citer ; non pour me moquer de Kepler mais bien mesurer l'évolution de nos mentalités.

La rotation de la planète Jupiter sur elle-même n'a vraiment été observée qu'un demi-siècle plus tard. Cependant K dit que son ami Wackher, conseiller de l'Empereur, l'a notée et il conjecture que sa période doit être très inférieure à un jour.

(Plus surprenant encore, quelques années plus tard, K parlera d'une tache rouge qui n'a été observée que plus de deux siècles plus tard). Mais, pour en revenir à la rotation de la planète, elle paraît nécessaire à K puisque, dans sa conception mécanicienne, c'est cette rotation qui entraîne le mouvement des satellites sur leurs orbites ; et la période de Io est si courte que la période de rotation propre de Jupiter doit l'être aussi.

Dans le système de Copernic , le fait que la Lune est un satellite de la Terre constitue une exception ; à nos yeux, une faiblesse du système. Pas du tout, objecte K, puisque cela confirme que la Terre est la meilleure partie de l'Univers. A quoi nous avons bien envie de répondre : et maintenant que Jupiter a des satellites, crois-tu encore, cher K, que la Terre soit privilégiée ?

La discussion sur ce point reste difficile avec K ; en homme de son temps, il se situe toujours au centre du monde. "Au centre du monde, il y a le Soleil, fontaine de lumière, source de chaleur, origine de la vie et des mouvements cosmiques. Le ciel a été assigné au seigneur céleste, le Soleil à la perfection et la Terre aux enfants de l'homme." Pour ces derniers, il n'y a pas de globe plus noble, plus approprié à l'humanité puisque la Terre est au milieu des planètes : comptez bien, en excluant Lune et satellites, trois planètes supérieures, deux planètes inférieures et le Soleil.

Et ce n'est pas tout, encore une preuve qu'on est bien chez nous, mieux que partout ailleurs : ce n'est déjà pas facile d'observer Mercure à partir de la Terre, alors imaginez ce que ça doit être à partir de Jupiter. Il est vrai que par compensation, Jupiter a quatre satellites et que pour les Joviens qui ont beaucoup de mal à observer leurs quatre planètes inférieures, il y a ces quatre lunes. Le monde n'est vraiment pas mal fait !

°°°

Les pages qui précèdent ne donnent qu'un aperçu de tout ce que Kepler a exprimé dans sa lettre à Galilée. Il ne faut pas se méprendre sur ce qui nous paraît relever de la divagation. Tout à la fin de sa lettre, K remarque qu'il y a encore des écarts inexplicables entre les orbites de Mars, de la Terre et de Vénus telles qu'il les a calculées et telles qu'on les déduit de l'observation. Il faudra encore plusieurs années pour que Kepler abandonne son modèle des polyèdres, plusieurs années et beaucoup de calculs (par logarithmes, cette nouveauté !) pour aboutir à la merveilleuse troisième loi. N'oublions pas que cette lettre à Galilée, c'est, pour nous, un coup d'oeil sur la pensée intime de Kepler à un moment déterminé, la pensée de Kepler est en mouvement et elle n'a pas encore atteint son sommet : L'Harmonie du Monde paraîtra en 1619. Cette "Conversation avec le Messager céleste", c'est de la science en train de se faire, de la divagation à côté de grandes idées novatrices. Kepler et Galilée sont de grands savants qui dialoguent, de grands savants, des hommes aussi.

K.Mizar

(*) De Stella Nova paraît à Prague en 1606 et traite de la nova apparue dans le Sagittaire en 1604.

ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE
IV - LES MODELES D'UNIVERS EN EXPANSION

Après la découverte de l'expansion de l'Univers par Hubble, de nombreux modèles mathématiques dans lesquels la géométrie de l'espace variait avec le temps furent proposés.

Précurseur méconnu, Friedman entre 1922 et 1924 avait déjà décrit les principaux types de ces modèles mais Friedman était un mathématicien qui se contentait de l'élégance de telle ou telle solution. Il lui manqua d'entrevoir que ses solutions non statiques des équations d'Einstein risquaient d'avoir un sens physique et de prédire ainsi théoriquement l'expansion de l'univers avant même qu'Hubble ne pût l'observer.

Quelques années plus tard, un autre mathématicien, Robertson, avait atteint, dans ce domaine de recherche, une maîtrise incontestée. Il établit l'existence de tous les modèles d'univers en expansion que l'on pouvait déduire des équations d'Einstein et retrouva ainsi les modèles de Friedman comme cas particuliers de son étude générale.

L'état de la question cosmologique s'établissait donc, vers les années 1930, sensiblement comme suit. Les modèles proposés pour expliquer l'Univers résultaient finalement de deux principes:

Le principe de Mach, selon lequel leur géométrie était déterminée par leur contenu matériel. C'étaient les équations du champ de gravitation établies par Einstein qui traduisaient quantitativement ce principe et les modèles de Robertson étaient bien, tous, solutions des équations d'Einstein.

Le second principe, ou principe cosmologique, posait l'homogénéité et l'isotropie de l'espace.

Alors, curieusement, le modèle le plus général de Robertson montra une nouvelle séparation de l'espace et du temps que, localement, la théorie de la relativité restreinte avait abolie. A l'échelle cosmique, le temps redevient absolu. C'est un temps cosmique, universel, qui s'identifie au temps propre de chaque galaxie et c'est par rapport à ce temps absolu cosmique que varie la géométrie de l'espace.

De très nombreux modèles particuliers sont compatibles avec ce modèle général de Robertson, mais dans les grandes lignes, disons que trois cas principaux peuvent se présenter: ou bien la courbure de l'espace referme l'univers sur lui-même. C'est encore, comme dans l'ancien modèle d'Einstein, l'image de la surface d'une sphère qui représente alors au mieux l'univers physique mais le rayon de cette sphère croît avec le temps, provoquant ainsi l'expansion de toute la géométrie spatiale.

Ou bien l'univers est euclidien, infini et en expansion, ou bien encore l'univers est, de par sa courbure particulière, encore plus ouvert que l'espace euclidien. Son espace est encore infini. Ce dernier modèle est dit hyperbolique.

On voit alors à quel point les progrès de la cosmologie reculaient la solution du problème puisqu'aussi bien des univers finis que des univers infinis apparaissent comme solution mathématique des équations d'Einstein.

Certes la courbure de l'espace apparaissait dans les équations comme directement liée à la densité de matière dans l'univers et un critère expérimental s'offrait ainsi pour déterminer le modèle d'univers. Si l'on trouvait une densité de matière suffisante, l'univers devait être refermé sur lui-même et donc fini.

Mais il est bien difficile d'effectuer une étude exhaustive des dénombrements de galaxies, et d'accéder ainsi à une bonne mesure de la densité de matière dans l'uni-

vers. Et puis il existe sans doute une matière intergalactique qu'on observe encore très mal et dont il est très difficile d'évaluer la densité.

Le problème se présente donc de la façon suivante: si l'univers est fini, fermé sur lui-même, on finira un jour par découvrir assez de densité matérielle pour prouver qu'il est fermé mais s'il est ouvert, infini, on ne sera jamais sûr de ne pas avoir oublié une quantité importante de matière, invisible à nos techniques, pour pouvoir utiliser avec certitude le critère de densité dans ce sens.

Un autre aspect de l'expansion de l'univers suggérait une origine commune à cette expansion, un état hyperdense de l'univers dans le passé, à partir duquel l'expansion aurait dilué la matière universelle afin de lui donner aujourd'hui l'aspect que nous lui connaissons.

Le taux d'expansion permet de calculer l'âge de l'univers. A l'époque des résultats de Robertson, les mesures conduisaient à un âge trop court de l'univers, incompatible avec les âges des étoiles ou même celui d'une planète comme la terre.

Il convient donc d'insister sur le grand désarroi que laissaient dans les esprits les plus enthousiastes (et Einstein était de ceux-là) la multiplicité des modèles possibles, la remise en question de la finitude ou de l'infinitude de l'espace, l'âge de l'univers.

En 1917, Einstein avait cru trouver le modèle unique, solution des équations du champ de gravitation. Cette unicité avait, en effet, à ses yeux une très haute portée philosophique.

Les équations qui traduisent les lois de la physique ont en effet un caractère local, très lié à l'observateur qui les étudie. Elles n'impliquent rien sur la géométrie du voisinage. Quelle chance avons-nous alors de connaître jamais les propriétés de ce voisinage? Voilà bien le coeur de la question philosophique sur le monde qui nous entoure. Ce voisinage se comporte-t-il par sa diversité possible, comme un "n'importe quoi" qui échappe, au hasard même de cette diversité, à notre possibilité de connaissance? Ou bien a-t-il une structure unique susceptible d'être connue? L'unicité du modèle d'Einstein avait à ses yeux valeur épistémologique. C'était un acte de foi rationaliste. Pour Einstein, au même titre que les phénomènes locaux, les phénomènes à grande échelle sont accessibles à notre raison. On peut donc découvrir un modèle de notre univers physique.

En collaboration avec De Sitter, Einstein entreprit de choisir dans la diversité des modèles de Robertson, le modèle idéal. Einstein le détermina par un processus que Merleau Ponty appelle celui de l'économie logique. Trois constantes donnaient aux modèles de Robertson leur diversité. Einstein convint de les prendre toutes trois nulles. Il renonçait ainsi à la constante cosmologique qu'il avait introduite en 1917 dans les équations du champ de gravitation pour construire son premier modèle. Annuler la seconde constante, la pression du gaz cosmique, revenait à traduire l'évidence de la ténuité de la matière universelle où les chocs entre galaxies sont inexistantes. Enfin annuler la troisième constante, celle de la courbure, revenait à choisir à nouveau un espace infini et euclidien pour une raison précise, une difficulté inhérente à la théorie de la gravitation. Cette difficulté n'était soulevée que dans le cas d'un modèle statique d'univers. Avec un univers en expansion, cette difficulté ne subsistait plus.

Le mouvement du modèle d'univers, proposé par Einstein-De Sitter en 1932, était donc infini, sans courbure comme l'espace euclidien, avec un temps cosmique absolu, et en expansion à partir d'une singularité primordiale qui fixait l'âge de l'univers.

On ne manquera pas de remarquer le caractère arbitraire de cette convention d'Einstein qui consistait à annuler a priori trois constantes pour déterminer le modèle d'univers et l'on s'étonnera moins de voir naître alors en Grande Bretagne un courant de pensée philosophique qui prétendit reconstruire la cosmologie sans l'aide des équations de la relativité générale. Il s'agissait de ce qu'on appela la cosmologie déductive.

Chronique du CLEA

Retour sur l'assemblée générale du 19840121 Ce qui suit n'est que le très bref résumé d'une journée très riche en informations diverses. Rappelons qu'un compte rendu complet est envoyé aux membres du CLEA qui en font la demande au secrétaire.

Situation financière saine : 85% des recettes sont constituées par les cotisations et les abonnements aux CC ; subventions MITIF et ANVAR, 8%, rétribution d'une mission pour le Musée de la Villette 6% ; sur un total de recettes de 98 294 F. Les dépenses sont principalement l'impression et l'expédition des CC, les frais de secrétariat et, investissement fort apprécié, achat d'un Apple II. Budget ainsi équilibré compte tenu des factures en cours de règlement. Evidemment, on ne vit pas sur un grand pied.

En 1983, le CLEA a compté 781 adhérents et les CC 1180 abonnés bien répartis dans toute la France (à l'exception des départements 15, 23, 24 et un abonné unique dans 20, 32, 36, 43, 46, 48, 58, 70 et 90). Ce qui doit guider notre effort de prospection et de propagande.

Les participants ont donné un aperçu de leurs activités. Stages de Montpellier (Reboul), d'Orsay, de Grenoble (Richelme), Marseille (Duval et Vento), Besançon (Parisot), Toulouse (Brunet), Lyon (Paturel), Nançay (Ledanc), Reims (Toussaint et Mathieu), Strasbourg (Acker). Action dans les EN ; Laisne (Douai), Sarrazin (Limoges), Balpe (Melun), Ledanc (Nançay), Mathieu (Charleville), Rosenstienl (Le Mans). Gagnier (Rochefort), Dahringer (Bretagne) posent le problème des académies où il n'y a pas d'astronomie à l'université. Dans l'ensemble, grande variété d'initiatives et succès de tous les stages.

Présentation de documents réalisés par des membres ou des équipes du CLEA : montage diapos-son sur la comète de Halley par F.Suagher et J.P.Parisot, maquette de l'orbite de la comète par une équipe de l'école d'été 83, expérience sur le bleu du ciel par B.Sandré, programmes sur Apple II par Allard, Dupré et Toulmonde.

L'échange de vues sur les Cahiers Clairaut montre qu'il est essentiel de maintenir un bon équilibre des sommaires afin que la lecture en reste agréable et utile à tous dans leur enseignement.

Le repas préparé par L.Bottinelli, M.Rivière, B.Sandré et C.Vignon a participé au climat de convivialité qui a marqué tous les débats. Et nous étions une bonne centaine.

L'assemblée s'est achevée par la conférence de notre Président d'honneur J-C.Pecker sur "Les pulsations du Soleil" (en cours de rédaction) et la projection du film "Micro éruption solaire" édité par Serday (CNRS).

Conseil du CLEA, élu par l'assemblée générale (80 votants) : en 1983, il y avait 51 votants. Sont élus, chacun avec 80 voix : A.Acker (Strasbourg), C.Astruc, D.Bardin (fait équipe avec M. Vidal, Marseille), L.Bottinelli (Orléans), A.Brahic, J.P.Brunet (Toulouse), J.Chappelle (Clermont), J.Chappelet (CEMEA), F.Dahringer (Rennes), A.Dargencourt, F.Delmas, C.Dumoulin (IREM),

MF.Duvél (fait équipe avec A.Laval et C.Roddier, Aix-Marseille), JL.Fouquet (Nancy-Metz), H.Gié, L.Gouguenheim, R.Hernandez (Dijon), JL.Heudier (Nice), DJ.Jay (APHG), F.Joly (Bordeaux), M.Laisne (Lille), D.Mauras (UP), F.Mi not (AFMEP), G.Paturel (Lyon), JC.Pecker, H.Reboul (Montpellier), A.Richelme (Grenoble), J.Ripert, A.Rivière (Créteil), JP.Rosenstiehl (Nantes), B.Sandré (Versailles), L.Sarrazin (Limoges), M.Simondin (EN Versailles), F.Suagher (Besançon), D.Toussaint (Reims), V.Tryoën, M.Vento (APISP), J.Vialle (Poitiers), C.Vignon (Paris), G.Walusinski.

Bureau du CLEA

Le Conseil a élu pour 1984 le Bureau suivant :
Présidents d'honneur : J-C.Pecker, E.Schatzman ; Présidente : L.Gouguenheim ; Vice-Présidents : A.Acker, J.Chappelet, A.Dargencourt, H.Gié, M.Laisne, C.Vignon ; Trésorière : F.Delmas ; secrétaire : G.Walusinski.

Le Bureau s'est réuni le samedi 24 mars à 14 h à l'Observatoire de Paris. Il a discuté de la rédaction des CC : examen des articles reçus et recherche de nouveaux articles.

Il a constaté avec satisfaction l'inscription officielle de l'école d'été 84 dans la liste des "universités d'été" publiée au BOEN, cette publication nous laissant la responsabilité de l'inscription des participants. Il faut cependant noter que cette publication au BOEN est advenue alors que l'école était déjà complète. Les collègues qui n'auront pu être inscrits pour cette école 84 seront informés en priorité de l'ouverture des inscriptions pour l'école 85.

Le Bureau, répondant à une demande de M.Houziaux, Président de la commission enseignement de l'UAI, a envisagé l'organisation d'une exposition de travaux réalisés par des clubs scolaires ou des équipes du CLEA, et d'une journée sur l'enseignement de l'astronomie à Toulouse, en septembre 1984, à l'occasion du meeting européen de l'UAI qui se tient dans cette ville à cette date. Pour toute suggestion à ce sujet, écrire au secrétaire.

Le CLEA à Radio France Culture

Dans le cadre de l'émission "Echec au hasard" diffusée sur France Culture, J.Dupré et G.Walusinski ont présenté le CLEA, son action et ses Cahiers Clairaut, les 14 et 16 avril 1984 à 8 h 50.

Sur Radio Maine

Le club d'astronomie de l'Université du Maine diffuse une émission "Champs étoiles", le mercredi soir entre 21 et 22 h, tous les quinze jours à partir du 2 mai 1984. Sur 97,7 Mhz.FM.

Le CRDP de Paris

a chargé le CLEA d'organiser un stage pour les enseignants du premier et du second degré qui comportera deux journées complètes (7 novembre 84 et 23 janvier 85) et six après midi les 14, 21, 28 novembre 84, 5 décembre 84, 9 et 16 janvier 85. Pour tous renseignements, écrire au secrétaire.

§ § § § § § § § § § § § § § §

TEST D'INTELLIGENCE

Peut-on voir le plus loin le jour ou la nuit ?

(réponse page 40)

II - MOUVEMENT DU PLAN DE L'ORBITE DE LA LUNE

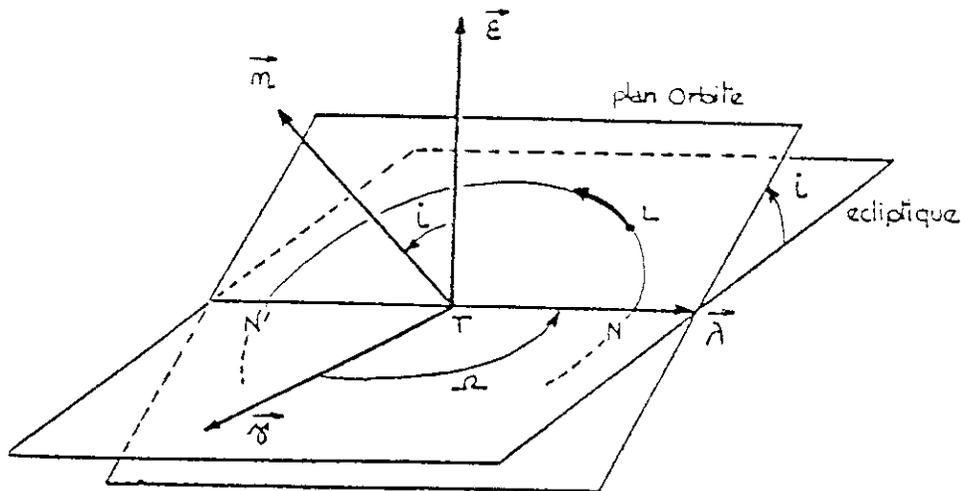
On veut étudier le mouvement du plan de l'orbite de la lune* à partir des positions de la lune données par les éphémérides. Cela en remplaçant l'outil "trigonométrie sphérique" par l'outil "calcul vectoriel" (donné maintenant en classe de lère (coordonnées - produit scalaire - produit vectoriel)). Cet exercice doit aussi développer la vision dans l'espace.

1 - Position du plan de l'orbite de la lune

Le plan de référence est le plan de l'écliptique, orienté par l'orbite de la terre ; \vec{E} est sa normale. Le repère utilisé pour définir la position du plan de l'orbite de la lune (L) est lié à la terre (T). Le plan de l'écliptique étant orienté par \vec{E} on distingue le noeud ascendant N rencontré par la lune dans son mouvement ascendant par rapport au plan de l'écliptique et le noeud descendant N'.

Le plan de l'orbite est déterminé par son inclinaison i ($0^\circ \leq i \leq 180^\circ$) et la longitude Ω du noeud ascendant ($0^\circ \leq \Omega \leq 360^\circ$)

$$i = (\vec{E}, \vec{n}) \text{ et } \Omega = \langle \vec{\delta}, \vec{TN} \rangle = \langle \vec{\delta}, \vec{\lambda} \rangle$$

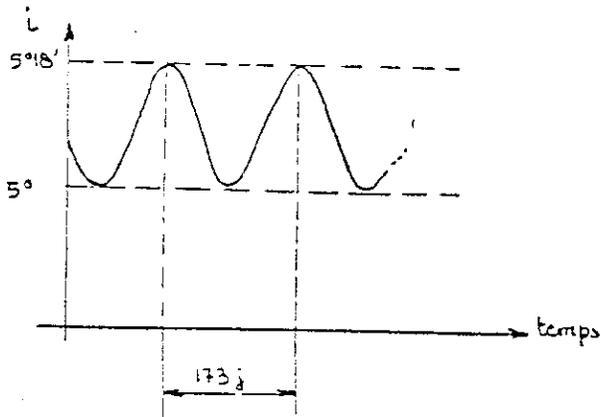


2 - Mouvement du plan de l'orbite de la lune

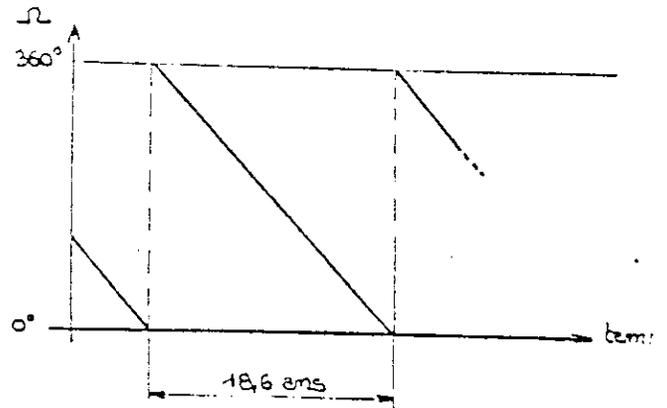
On lit dans tous les ouvrages d'astronomie que l'inclinaison i varie entre 5° et $5^\circ 18'$ avec une période de 173 j et que la ligne des noeuds tourne de 360° en une période de 18,6 ans, dans le sens rétrograde. Notre objectif est de retrouver ces phénomènes à partir des positions de la lune données par les éphémérides.

* Il s'agit du mouvement essentiel, la lune étant soumise à de nombreuses perturbations.

On doit trouver :



variations de i

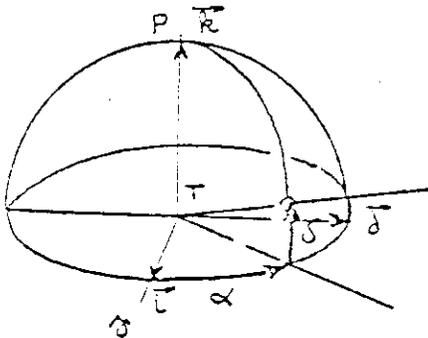


variations de Ω

3 - Méthode

Le repère utilisé pour les calculs sera celui dans lequel on repère habituellement les astres : le plan équatorial avec δ .

La position d'un astre est définie par son ascension droite α et sa déclinaison δ ($0^h \leq \alpha \leq 24^h$ et $-90^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$). Les coordonnées des vecteurs sont calculées dans le repère $(T, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ défini sur la figure ci-dessous où γ est le point vernal, P le pôle céleste.

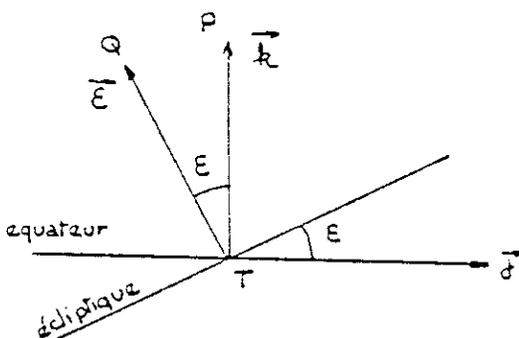


$$\text{On a : } x = \cos \delta \cos \alpha,$$

$$y = \cos \delta \sin \alpha,$$

$$z = \sin \delta$$

On aura besoin des coordonnées de \vec{E} qui sont :



$$\vec{E} \begin{vmatrix} 0 \\ -\sin \epsilon \\ \cos \epsilon \end{vmatrix}$$

avec $\epsilon = 23.5^\circ$

Un couple de positions (L1, L2) séparées de 5 jours par exemple nous donne deux points du plan de l'orbite de la lune, celui-ci est alors déterminé.

On lit $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2$ et δ_2 dans les éphémérides pour les dates t_1 et t_2 considérées et on a pour $t_1 \leq t_2$:

$$\vec{n} = \frac{\vec{TL1} \wedge \vec{TL2}}{\|\vec{TL1} \wedge \vec{TL2}\|}$$

$$\vec{\lambda} = \frac{\vec{E} \wedge \vec{n}}{\|\vec{E} \wedge \vec{n}\|}$$

d'où i déterminé par :

$$\cos i = \vec{n} \cdot \vec{E} \quad (i \in [0, \frac{\pi}{2}])$$

et Ω déterminé par :

$$\begin{cases} \cos \Omega = \vec{\gamma} \cdot \vec{\lambda} \\ \Omega \in [0, \pi] \text{ si } \vec{\gamma} \cdot \vec{\lambda} \geq 0, \Omega \in [\pi, 2\pi] \text{ si } \vec{\gamma} \cdot \vec{\lambda} < 0 \end{cases}$$

4 - Algorithme de calcul

Début

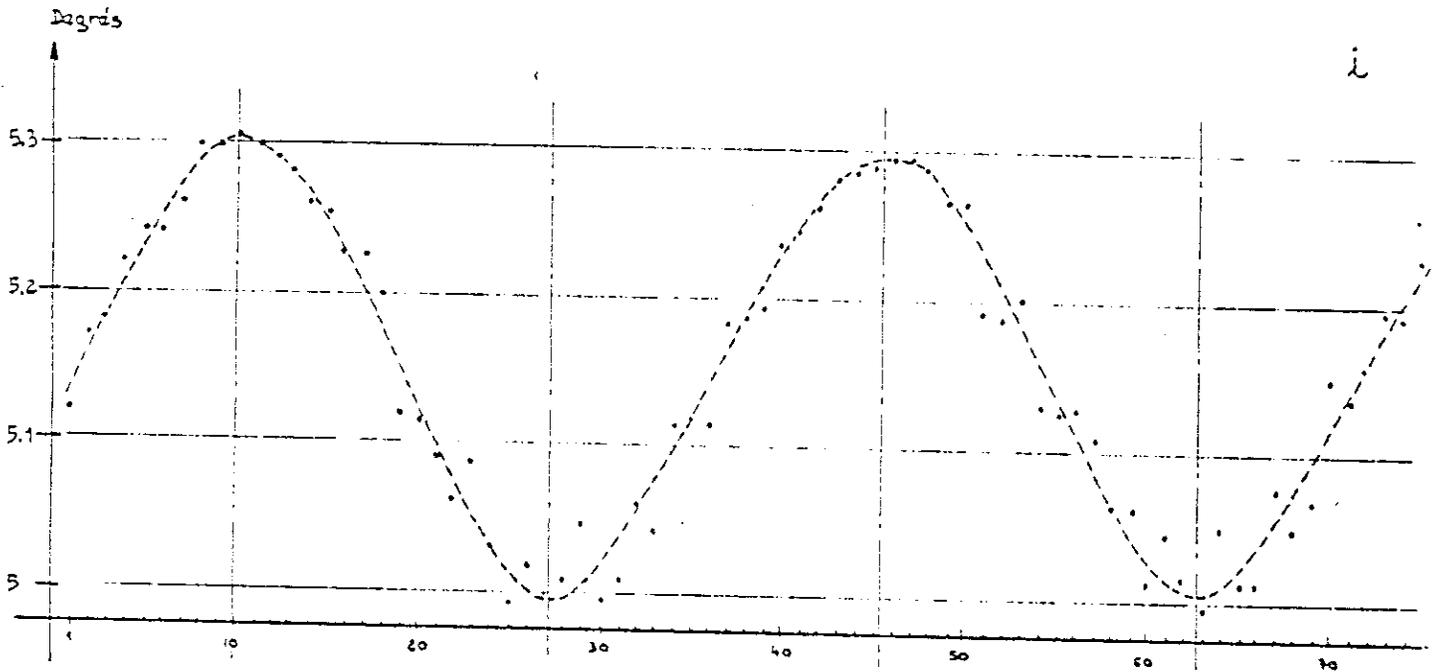
```

lire  $\alpha_1, \delta_1, \alpha_2, \delta_2$  ;
 $E \leftarrow 23.5 * \pi / 180$  ;
 $\alpha_1 \leftarrow$  conversion en radians ( $\alpha_1$ ) ;
 $\delta_1 \leftarrow$  conversion en radians ( $\delta_1$ ) ;
 $\alpha_2 \leftarrow$  conversion en radians ( $\alpha_2$ ) ;
 $\delta_2 \leftarrow$  conversion en radians ( $\delta_2$ ) ;
 $\vec{E} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ -\sin E \\ \cos E \end{pmatrix}$  ;
 $\vec{TL1} \leftarrow \begin{pmatrix} \cos \delta_1 * \cos \alpha_1 \\ \cos \delta_1 * \sin \alpha_1 \\ \sin \delta_1 \end{pmatrix}$  ;  $\vec{TL2} \leftarrow \begin{pmatrix} \cos \delta_2 * \cos \alpha_2 \\ \cos \delta_2 * \sin \alpha_2 \\ \sin \delta_2 \end{pmatrix}$  ;
 $\vec{n} \leftarrow \vec{TL1} \wedge \vec{TL2}, \vec{n} \leftarrow \vec{n} / \|\vec{n}\|$  ;
 $\vec{\lambda} \leftarrow \vec{E} \wedge \vec{n} ; \vec{\lambda} \leftarrow \vec{\lambda} / \|\vec{\lambda}\|$  ;
 $i \leftarrow \text{Arc cos} (\vec{n} \cdot \vec{E})$  ;
 $\Omega \leftarrow \text{Arc cos} (\vec{\gamma} \cdot \vec{\lambda})$  ;
si  $\vec{\gamma} \cdot \vec{\lambda} < 0$  alors  $\Omega \leftarrow -\Omega$  ;
 $i \leftarrow$  conversion en degrés déc. ( $i$ ) ;  $\Omega \leftarrow$  conversion en degrés déc. ( $\Omega$ ) ;
Afficher  $i, \Omega$  ;

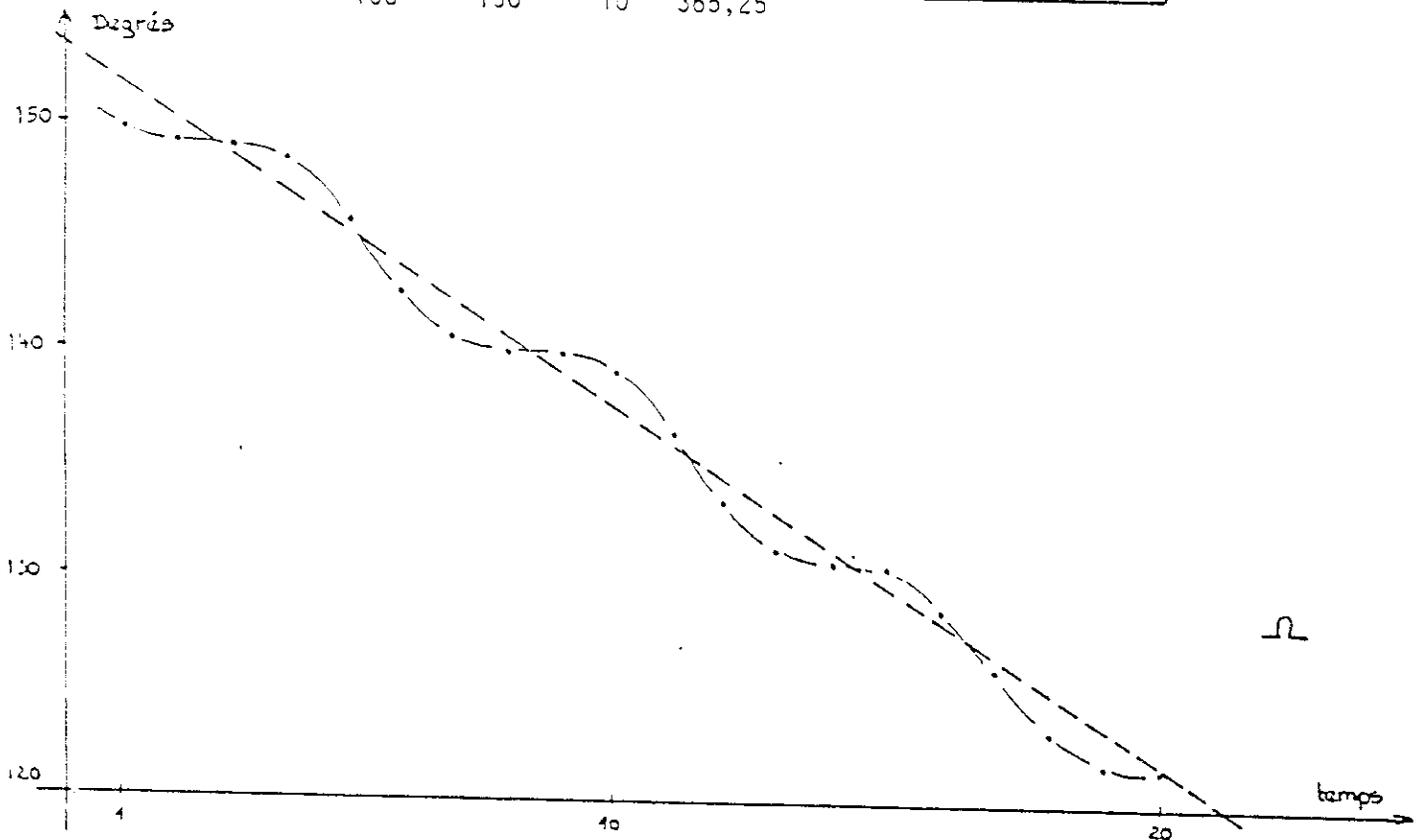
```

fin

i - On a 80 valeurs séparées de 5 jours (du 1/1/80 au 30/1/80)
 Amplitude des variations de i : entre 5° et $5,3^\circ$ soit $5^\circ \leq i \leq 5^\circ 18'$
 Période des variations de i : 5 j pour 2,5 mm ; Période = $89 * 5/2,5 = 178$ j



Ω - on a 20 valeurs séparées de 30 jours (du 1/1/80 au 28/7/81)
 Période des variations de Ω :
 Echelles : 20 * 30 j pour 150 mm ; 10° pour 30 mm
 Mesures : 158 mm pour le temps et 100 mm pour les degrés
 d'où $P = 360 * \frac{158}{100} * \frac{20 * 30}{150} * \frac{30}{10} * \frac{1}{365,25} = 18,68$ ans sens rétro



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

Rien que la Terre Le premier numéro des Cahiers Clairaut signalait l'intérêt exceptionnel du premier tome de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers qui venait de paraître (1977) et qui était consacré à la planète Terre. Depuis ont paru les tomes 2. Les étoiles, le système solaire (1979), 3. la Galaxie, l'Univers extragalactique (1980), 4. la Physique (1981). Un cinquième tome sur la géographie était prévu, la réalisation en a été malheureusement abandonnée. Par contre, la promesse est tenue d'une remise à jour périodique des quatre tomes réalisés et la deuxième édition de La Terre, les eaux, l'atmosphère vient de paraître (346 p. format 210/500, relié ; 200 F ; éd Gauthier-Villars).

Le Bureau des Longitudes, maître d'oeuvre de cette encyclopédie, est une institution d'autant plus vénérable qu'elle sait être fidèle à sa tradition en évoluant au rythme de la science. Et chacun sait que ce rythme s'accélère.

Dans cette nouvelle édition, d'abord d'heureux non-changements : même format, même formule avec de solides articles écrits par des spécialistes des observatoires et laboratoires français. Toujours deux grandes parties, même si les intitulés ont changé : 1) "la Terre solide" (mais, comme on sait, pas tant que ça et le chapitre 5 sur la sismologie a pris beaucoup d'ampleur) ; 2) "l'environnement fluide de la Terre" ce qui englobe les eaux et l'atmosphère.

Dans la première partie, deux additions immédiatement visibles : un nouveau chapitre 1 sur "repères et forces de gravité" par Jean Kovalevsky, un chapitre qui retiendra l'attention des astronomes, un chapitre 9 sur "la géothermie" par Jean Goguel, sujet d'actualité. Le chapitre 3 sur la géodésie a presque doublé de volume avec des considérations sur la géodésie régionale ou globale et sur des applications. Le chapitre 8 sur les modèles de la constitution physique de la Terre a été profondément remanié ; il sera intéressant d'en rapprocher ce qui sera dit sur la constitution physique des planètes dans le futur tome 2.

Dans la seconde partie, onze chapitre au lieu des sept de 1977. Trois chapitres entièrement nouveaux : l'ozonosphère, les cycles géochimiques de l'océan, l'évolution des climats passés. Redistribution et enrichissement général du contenu en particulier dans les chapitres 10 et 11 ; au lieu de "neige et glaciers", dix pages en 1977, voici "les glaces naturelles et leur dynamisme" quinze pas en 84. Un chapitre comme le 12 sur l'atmosphère nous intéresse puisque c'est à travers ce filtre que nous observons les astres. Dans le chapitre 14 sur les océans en mouvement, nous trouvons toutes les données pour étudier les marées, pour comprendre pourquoi le phénomène est si compliqué ; si la Terre était uniformément couverte d'un seul océan, sans continent, les calculs auraient été autrement simples...

Parmi les améliorations, je ne veux surtout pas oublier l'index alphabétique (qui figurait déjà dans les tomes suivants) et une bibliographie générale qui complète celles, spécialisées à la fin de nombreux chapitres. Bref, cet ouvrage est un parfait

exemple de la documentation sérieuse que toutes les bibliothèques de nos collèges et lycées devraient mettre à la disposition des enseignants. Il n'est pas négligeable que la présentation en soit claire, très lisible, agrémentée de photographies en petit nombre mais toujours judicieusement choisies. En particulier, en couverture, cette photo de la Terre par "Météo stat" du 1^{er} février 1978 à 12 h sur laquelle j'ai longtemps rêvé : "j'y étais et sur cette Afrique que je vois de face, a vécu, il y a peut-être 3 millions d'années Lucie, notre lointaine ancêtre. Quelle histoire ! Quelle Terre !

Notre mètre à tous

Bien qu'ayant déjà signalé ici (CC23) l'intérêt du bel article de C.Ruhla "Le mètre est mort, vive la lumière" (BUP, n°655, juin 1983), la publication de l'article de P.Carré "La nouvelle définition du mètre" dans le Bulletin de la Société Française de Physique (janvier 1984) m'invite à revenir sur ce sujet passionnant. A partir de ces deux articles que j'invite les collègues à lire entièrement et à conserver, je tente un résumé que je voudrais suggestif, ne serait-ce qu'à cause du "dix millionième du quart du méridien terrestre" et du "platine irridié" qui ont beaucoup fait rêver notre studieuse jeunesse.

1 - 1799. Définition : $1 \text{ m} = 10^{-6}$ du quart du méridien terrestre. Matérialisation : longueur d'une règle en platine "aggloméré" (pauvre France). L'étalon, à bouts, est seulement national.

2 - 1889-1927. Définition : longueur du prototype international en platine irridié (à tous, on est plus riche) ; étalon à traits sur barre à section en X. Incertitude du dixième de micromètre.

3 - 1960. Définition : $1 \text{ m} = 1\,650\,763,73$ longueurs d'onde dans le vide d'une radiation spécifiée du krypton 86. Incertitude 10^{-9} m .

4 - Remarque. Inconvénient de cette définition : trouver une radiation de plus grande pureté spectrale entraînerait une révision de la définition. En 1969-72, on réussit à stabiliser un laser à hélium-néon, à mesurer sa longueur d'onde λ par rapport à celle du krypton 86 et sa fréquence f par comparaison à l'étalon du césium qui définit la seconde ; or, λ et f sont liées par $\lambda f = c$; des mesures répétées donnent $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ avec une incertitude de 1,2 m/s due presque exclusivement à l'incertitude sur la longueur d'onde.

5 - 1975. La Conférence Générale des Poids et Mesures recommande cette valeur de c , déclarant qu'elle devrait rester inchangée dans l'avenir.

C.Ruhla fait bien remarquer que cela revient à prendre c comme unité fondamentale et que cela requiert la vérification de sa constance dans le vide quelle que soit la fréquence. Or les impulsions émises par le pulsar du Crabe ont bien lieu chaque 33 ms aussi bien en rayonnement radio qu'en rayonnement visible, en X ou en gamma. "le rayonnement électromagnétique a voyagé pendant 6500 ans sans qu'un déphasage appréciable s'introduise entre rayons gamma et ondes radio." L'incertitude relative sur c est inférieure à 10^{-15} .

6 - 1983. La 17^{ème} CGPM donne la définition :

<p>1 m = longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299792458$ de seconde.</p>
--

Conclusion tirée par C.Ruhla : le système MKS avec une unité fondamentale de longueur se trouve remplacé par un système CKS avec une unité fondamentale de vitesse. Il en résulte de nouvelles équations aux dimensions : longueur $[L] = [C][T]$, vitesse $[C]$, quantité de mouvement $[P] = [M][C]$, force $[F] = [M][C][T]^{-1}$ travail $[W] = [M][C]^2$ ou, comme le dit si bien Ruhla, "Einstein, avec nous!".

Etoiles et planètes Tel est le titre d'un nouveau recueil de diapositives réunies par A.Acker, E.Legrand et JM.Poncelet avec la collaboration de J.L.Halbwachs, c'est à dire l'équipe ERTEA que nous connaissons bien. Elle avait déjà réalisé, en 1980, un recueil Astronomie également édité, comme l'actuel, par le CRDP de Strasbourg.

"Etoiles et planètes" présente 24 diapositives et s'adresse en premier lieu aux enseignants du primaire : les astres du système solaire, explication des saisons et du mouvement diurne, les étoiles voisines du Soleil (perspective de notre voisinage stellaire), grandes constellations et les nébuleuses d'Orion et du Crabe. Ce contenu en fait un complément bien adapté au premier recueil. Les commentaires du fascicule d'accompagnement permettent de dépasser la simple admiration des images pour commencer à comprendre tout ce que l'observation attentive de ces documents enseigne.

Encore un bon outil qui s'ajoute à notre arsenal pour l'enseignement élémentaire de l'astronomie.

Equinoxes et année tropique J'aurais dû signaler plus tôt la note importante par Bruno Morando, du Bureau des Longitudes, dans l'Astronomie de décembre 1983. Sous le titre "L'équinoxe 1950 est mort. Vive l'équinoxe 2000!", il signalait la décision de l'UAI selon laquelle, à partir du 1^{er} janvier 1984, les éphémérides utiliseront pour nouvelle époque origine le 1^{er} janvier 2000 à 12 h (correspondant à la date julienne 2 451 545.0) date désignée par J2000.0

Il ajoute : "La notion d'année tropique est abandonnée. Si l'on veut donner les coordonnées moyennes d'un astre pour le début d'une année, ce début devra être séparé de l'époque origine J2000.0 par un multiple de 365,25".

D'où les conséquences curieuses : le début de 1984 est le 1^{er} janvier 1984 à 12 h (soit J1984.0) parce que c'est le début d'une année bissextile ; le début de 1985 sera le 31 décembre 1984 à 18 h (soit J1985.0).

Je me pose un certain nombre de questions :

- 1) Si la notion d'année tropique est abandonnée pour ces calculs, j'en vois bien l'avantage ; retenir le millier d'années juliennes 365 250 jours, facile ; retenir l'année tropique 365,242198781 jours, pas facile . Mais pour construire le calendrier banal, ne continuera-t-on pas à se fier à 365,2422 jours ?
- 2) B.Morando nous dit que l'échelle du Temps des Ephémérides est abandonnée et remplacée par celle du Temps Dynamique Terrestre (TDT) qui ne diffère du Temps Atomique International TAI que par l'addition de 32,184 secondes. Pourquoi les Ephémérides 1984 n'expliquent-elles pas ce TDT qu'elles ignorent superbement ?

3) A la page 37 des Ephémérides 84, je lis "L'année tropique est la période de révolution [terrestre] rapportée au repère moyen mobile (durée séparant deux passages consécutifs du Soleil dans la direction du point vernal)". Est-il équivalent de dire, ainsi que je l'ai toujours fait dans mon enseignement : l'année tropique est la valeur moyenne de l'année des saisons, durée séparant deux passages consécutifs du Soleil dans la direction du point vernal ?

Lectures tous azimuts Devant le foisonnement des publications astronomiques, je regrette de ne pouvoir tout citer, d'être injuste pour celles que j'ometts, faute de les connaître. Lecteurs, aidez-moi à réparer ces omissions.

Astrosec est le recueil des documents préparé par le Laboratoire d'astronomie de l'Université des sciences et techniques du Languedoc pour les stages destinés aux enseignants du secondaire (la "sec" de cette astro). Au sommaire : astronomie et physique (H.Reboul), distances et temps caractéristiques de l'Univers (HR), la sphère céleste, le mouvement diurne et le temps (F.Gleizes), la gravitation universelle (FG), les planètes du système solaire (FG), moyens d'observation, méthodes de mesure (HR), physique et évolution des étoiles (JP.Cordonni), la Galaxie et les galaxies (MO.Mennesier), l'Univers et les modèles cosmologiques (H.Andrillat), Univers et vie (HR).

Stage d'astronomie de Caen est le document préparé par l'équipe du labo d'astronomie d'Orsay pour le stage du 18-20 avril 1983 ... qui a été repris et amplifié en 1984.

J-P.Rosenstiehl a rédigé, pour l'option astronomie à l'EN du Mans, quatre fascicules sur l'astronomie de position, les mouvements apparents du Soleil, le calendrier et les mouvements des planètes.

La nébuleuse dixaelle est un bulletin ronéotypé du collège Donzelot de Limoges réalisé par le groupe "la thiasse d'Andromède". Une réalisation très vivante et pluridisciplinaire des enseignants et de leurs élèves.

Les galaxies spirales, excellent article par Françoise Combes (La Recherche n°153, mars 1984 : pourquoi cette stabilité des bras spiraux ? Une documentation à conserver.

Les étoiles magnétiques, article par John.D.Landstreet (La Recherche, n°154, avril 1984) sur le rôle important du champ magnétique dans l'évolution des étoiles.

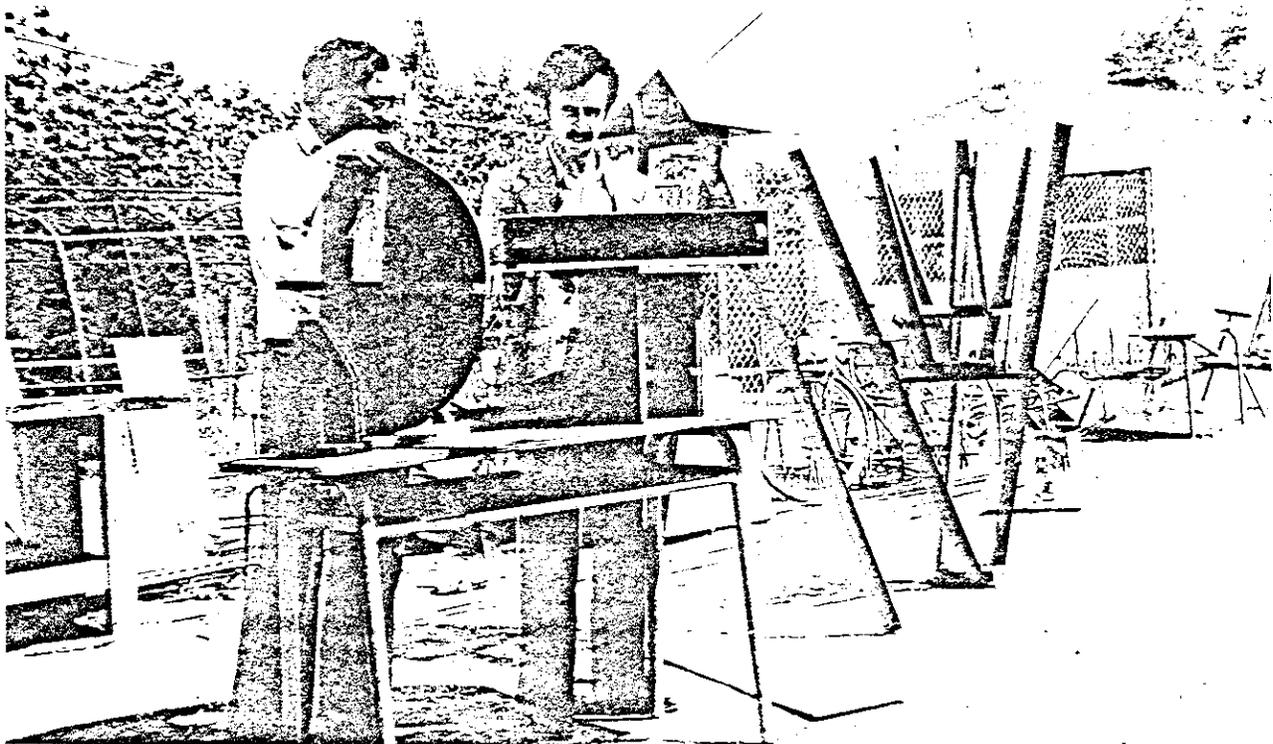
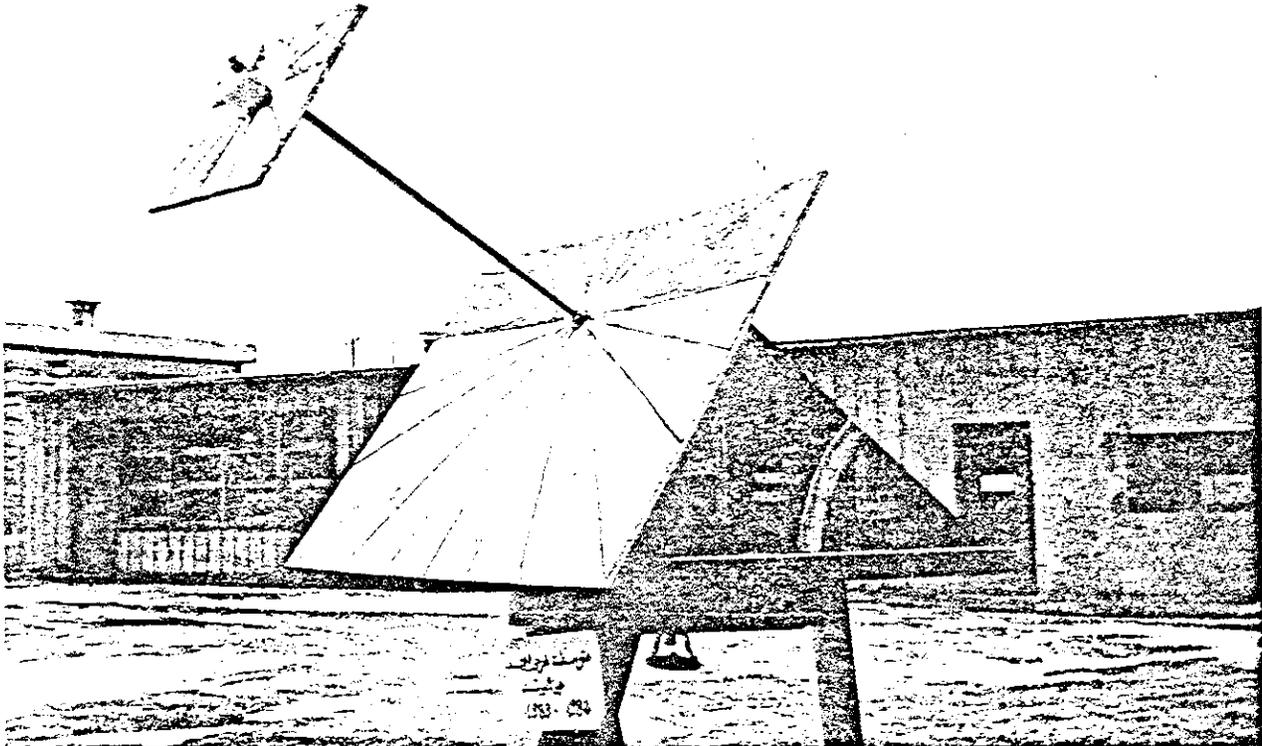
G.W.

"Un pasteur de mes connaissances, une nuit sans lune, a compté plus de quarante étoiles dans le bouclier d'Orion". Kepler cite ainsi une observation faite par son ami David Fabricius (1564-1617) avec qui il entretint une abondante correspondance. Ce Fabricius n'a pas la faveur des dictionnaires : inconnu dans le Larousse du XX^{ème} siècle, dans Encyclopaedia Universalis et dans Encyclopaedia Britannica. Le Robert des noms propres lui attribue la découverte des taches du Soleil et celle de Mira Ceti. Rosen voit en lui le fondateur de l'astronomie des étoiles variables. Pannekoek, plus prudent, écrit qu'il aurait pris Mira Ceti pour une nova. Quant aux taches du Soleil, c'est Johann, fils de David, qui les aurait vues le premier durant l'été de 1611.

ASTRONOMIE AU TECHNICUM DE BATNA

Monsieur Jean-Paul GINESTET, professeur de mathématiques au Technicum de Batna (Algérie) nous a fait part des nombreuses activités qu'il a menées avec ses élèves. Nous reproduisons ci-dessous deux des photos qu'il nous a envoyées. On peut y voir la réalisation d'un télescope et d'un très beau cadran solaire.

Par ailleurs, il a obtenu des photos de champs stellaires, il a fait des recherches sur la visibilité des planètes inférieures et monté une exposition d'Astronomie très intéressante.



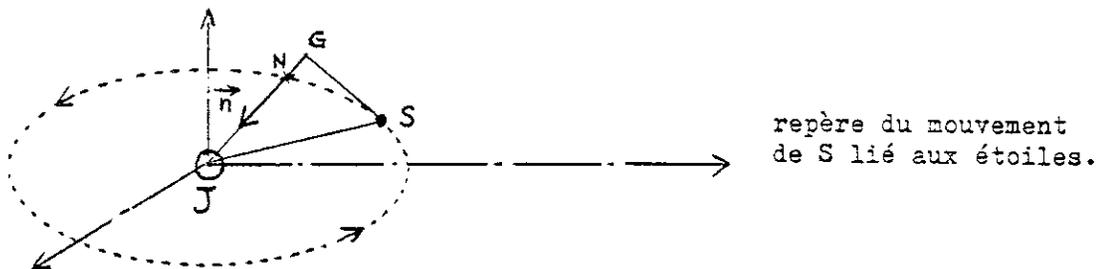
B/ MESURE DE LA MASSE DE JUPITERSANS BALANCE.

I/ -PRINCIPE PHYSIQUE:

La mécanique céleste repose sur deux principes fondamentaux; l'un, découvert par Galilée, dit que si un objet n'est soumis à aucune force, son centre de "gravité" a un mouvement rectiligne et uniforme dans un repère lié aux étoiles. C'est le principe d'inertie.

- l'autre, découvert par Newton, s'énonce comme suit: si un objet de masse m est soumis à une force \vec{F} , son centre de "gravité" a une accélération $\vec{\gamma}$ telle que $\vec{F} = m\vec{\gamma}$. (relation fondamentale de la dynamique.)

C'est ainsi que l'on peut expliquer le mouvement d'une lune (de faible masse) autour de sa planète (de forte masse):



En l'absence de J, le centre de "gravité" de S devrait aller en G à cause du mouvement rectiligne prévu par le principe d'inertie. Mais sous l'action de l'attraction de J (force de gravitation \vec{F} centripète), le satellite tombe en N avec l'accélération $\vec{\gamma}$ telle que $\vec{F} = m_s \cdot \vec{\gamma}$.

On peut ainsi recommencer le raisonnement à chaque instant et dire, comme Newton, que S tombe en permanence vers J sans jamais l'atteindre à cause de sa vitesse tangentielle.

Si le mouvement de S est circulaire uniforme on peut écrire:

$$\vec{F} = m_s \cdot \vec{\gamma} \quad \text{avec} \quad \vec{\gamma} = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot a \cdot \vec{n} \quad \text{où } T \text{ est la période de révolution de S (sidérale) et } a \text{ le rayon de l'orbite.}$$

Or la force de gravitation \vec{F} est proportionnelle aux masses de J et S et inversement proportionnelle au carré de la distance entre J et S:

$$\vec{F} = G \frac{m_s \cdot M_J}{a^2} \cdot \vec{n} \quad (G: \text{constante de gravitation universelle } = 6,67 \cdot 10^{-11})$$

$$\text{d'où} \quad \frac{G \cdot m_s \cdot M_J}{a^2} \cdot \vec{n} = m_s \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot a \cdot \vec{n}$$

$$\boxed{M_J = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{T^2}} \begin{matrix} \rightarrow m \\ \rightarrow s \end{matrix}$$

kg

Connaissant le rayon de l'orbite (a) de S et sa période de révolution T , on peut calculer la masse de Jupiter (M_J).

II/ CALCUL DE LA MASSE DE JUPITER:

1) Mesure du rayon des orbites:

$$\text{on a} \quad a = \sqrt{\left(\frac{a_2 - a_1 \cos \omega \tau}{\sin \omega \tau}\right)^2 + a_1^2}$$

* Connaissant l'échelle du cliché, la distance Terre-Jupiter et que $1^\circ = \frac{\pi}{180}$ radians calculer a en mètre pour Ganymède et Callisto.

2°) 3ème loi de Képler, masse de Jupiter :

La formule (1) montre que quelle que soit la masse du satellite (négligeable devant celle de Jupiter), donc quel que soit celui-ci on a :

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{M_J \cdot G}{4\pi^2} = \text{constante}$$

nom du satellite	$\frac{a^3}{T^2}$ en m^3/s^2
Ganymède	
Callisto	

d'où $M_J = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{T^2}$

en prenant la valeur moyenne de $\frac{a^3}{T^2}$

$M_J = \dots\dots\dots \text{ kg}$

* sachant que la masse de la Terre est d'environ $6 \cdot 10^{24}$ kg, vérifier que Jupiter est environ 300 fois plus massive que la Terre (317,9 exactement).

III/ REMARQUES:

* La distance des satellites à Jupiter suit une sorte de loi de Bode : d'un satellite au suivant, la distance est multipliée par 1,7. Le vérifier en calculant a_{IV}/a_{III} .

Satellites	I	II	III	IV
diamètre(km)	3650	3120	5280	4840

compte tenu des magnitudes des lunes joviennes, que peut-on dire de l'état de surface de Callisto?

P. LE FUR (Le Mans)

C/ MESURE DE LA MASSE DE JUPITERAVEC UN CHRONOMETRE

Nous allons essayer de nous passer de matériel sophistiqué (photographies prises au Célestron, calculatrice, calculs complexes). Il faut adapter la méthode à l'âge de l'utilisateur. Que pourrait faire un élève de collège?

Pour obtenir la masse de Jupiter il suffit d'avoir une lunette avec un oculaire réticulé, des éphémérides et ...un chronomètre.

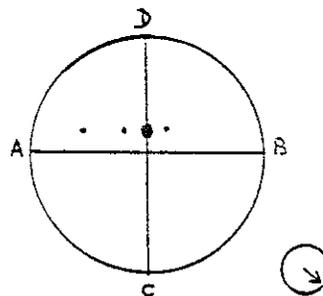
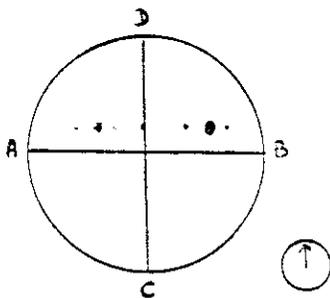
I/ METHODE:

Pour calculer la période du satellite et la masse de Jupiter, il faut mesurer la distance angulaire Jupiter-Satellite. La mesure se fera avec un chronomètre.

-laisser défilier le système jovien derrière le réticule de la lunette parallèlement à AB (schéma).

-chronométrer la durée qui sépare les passages d'un satellite et du centre de la planète sous CD. Il est facile de faire une dizaine de mesures par soir.

- calculer la moyenne t.



II/ RAYON DE L'ORBITE:

Le mouvement d'un satellite vu depuis la Terre est un mouvement rectiligne sinusoïdal. À partir des éphémérides, il est possible de connaître la date de passage à la plus grande élongation; ce jour-là faire la mesure (t_{\max}).

Le déplacement du système jovien derrière le réticule est dû à la rotation de la Terre: en 24 h \rightarrow 360° en $t_{\max} \rightarrow \alpha'$

Pour calculer l'angle sous lequel on voit depuis la Terre la distance Jupiter-satellite, il faut tenir compte de la déclinaison de Jupiter $\alpha = \alpha' \cos \delta$
 rayon de l'orbite $a = d_{TJ} \cdot \alpha$ (rad)

- Remarques: - on néglige la variation de a pendant la mesure.
 - la mesure est indépendante du grossissement de la lunette.

III/ PERIODE DE REVOLUTION:

* Faire des relevés sur 3 ou 4 jours (pour Ganymède et Callisto) autour du jour de plus grande élongation. On obtient $t_1, t_2, t_3 \equiv t_{\max}, t_4, \dots$ (voir figure page 40)

* Il est possible d'obtenir la période en calculant les cosinus des angles, mais il est plus simple d'utiliser une méthode graphique.

- sur une droite reporter à partir de 0' les valeurs $t_1, t_2, t_3 \dots$

- tracer le cercle de centre 0 et de rayon t_{\max}

- reporter les positions S_1, S_2, S_3, \dots du satellite sur le cercle trajectoire.

- mesurer avec un rapporteur l'angle $S_1 O S_n$ qui a été balayé pendant la durée

D correspondant à la différence des dates d'observation i et n.

$$\widehat{S_1 O S_n} \rightarrow D \quad 360^\circ \rightarrow T \text{ période de révolution.}$$

IV/ MASSE DE JUPITER:

Ayant calculé a et T on en déduit la masse de Jupiter:

$$M_J = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{T^2} \quad (1)$$

Remarques: - en réalité

$$\frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a^3}{T^2} = M_J + M_{\text{Satellite}} \quad \text{mais } M_J \gg M_S$$

- on peut calculer la masse de Jupiter en masses solaires

$$M_\odot = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{a_T^3}{T_T^2} \rightarrow \text{pour la Terre} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \quad \frac{M_J}{M_\odot} = \frac{a^3}{a_T^3} \cdot \frac{T_T^2}{T^2}$$

V/ MESURES: (voir tableau)

* Pour Callisto:

- a) rayon de l'orbite: t_{\max} le 8-10-83

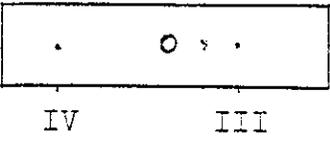
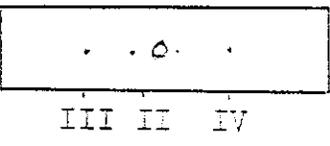
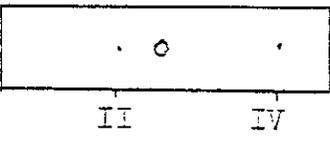
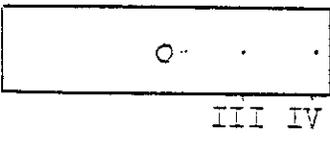
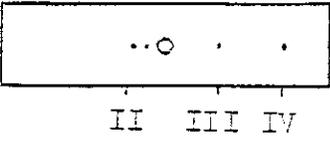
$$1 \text{ UA} = 149,6 \cdot 10^9 \text{ m} \quad 24\text{h} \rightarrow 360^\circ \quad 1\text{s} \rightarrow 0,25' \quad 1' = 0,00029 \text{ rad}$$

$$\alpha = t_{\max} \cdot 0,25 \cdot 0,00029 \cdot \cos \delta \quad \text{avec } \delta = 21^\circ \text{ et } t_{\max} = 31,75\text{s}$$

$$= 31,75 \cdot 0,25 \cdot 0,00029 \cdot 0,9336 = 0,002149 \text{ rad}$$

$$a = d_{TJ} \cdot \alpha = 5,844 \cdot 149,6 \cdot 10^9 \cdot 0,002149 = 1,879 \cdot 10^9 \text{ m}$$

Tableau des mesures

date (heure locale)	t en secondes	moyenne	dTJ(UA)																								
01-10-83 19h20 	<table> <tr><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>18,32</td><td>24,41</td></tr> <tr><td>17,87</td><td>24,54</td></tr> <tr><td>18,10</td><td>24,60</td></tr> <tr><td>17,85</td><td>24,82</td></tr> <tr><td>17,91</td><td>24,91</td></tr> <tr><td>18,18</td><td>24,94</td></tr> </table>	III	IV	18,32	24,41	17,87	24,54	18,10	24,60	17,85	24,82	17,91	24,91	18,18	24,94	<table> <tr><td>III: 18,03</td></tr> <tr><td>IV: 24,70</td></tr> </table>	III: 18,03	IV: 24,70	5,756								
III	IV																										
18,32	24,41																										
17,87	24,54																										
18,10	24,60																										
17,85	24,82																										
17,91	24,91																										
18,18	24,94																										
III: 18,03																											
IV: 24,70																											
02-10-83 19h10 	<table> <tr><td>II</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>9,87</td><td>9,19</td><td>15,19</td></tr> <tr><td>9,94</td><td>9,54</td><td>15,03</td></tr> <tr><td>10,03</td><td>9,25</td><td>15,57</td></tr> <tr><td>9,63</td><td>9,12</td><td>15,48</td></tr> <tr><td>9,68</td><td>9,35</td><td>15,35</td></tr> <tr><td></td><td>9,54</td><td></td></tr> </table>	II	III	IV	9,87	9,19	15,19	9,94	9,54	15,03	10,03	9,25	15,57	9,63	9,12	15,48	9,68	9,35	15,35		9,54		<table> <tr><td>II: 9,83</td></tr> <tr><td>III: 9,33</td></tr> <tr><td>IV: 15,32</td></tr> </table>	II: 9,83	III: 9,33	IV: 15,32	5,768
II	III	IV																									
9,87	9,19	15,19																									
9,94	9,54	15,03																									
10,03	9,25	15,57																									
9,63	9,12	15,48																									
9,68	9,35	15,35																									
	9,54																										
II: 9,83																											
III: 9,33																											
IV: 15,32																											
05-10-83 19h07 	<table> <tr><td>II</td><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>2,32</td><td>15,91</td><td>18,73</td></tr> <tr><td>2,91</td><td>16,06</td><td>18,56</td></tr> <tr><td>2,60</td><td>15,88</td><td>18,43</td></tr> <tr><td>2,22</td><td>15,82</td><td>18,62</td></tr> <tr><td>2,48</td><td>15,54</td><td>18,51</td></tr> <tr><td></td><td>15,94</td><td></td></tr> </table>	II	III	IV	2,32	15,91	18,73	2,91	16,06	18,56	2,60	15,88	18,43	2,22	15,82	18,62	2,48	15,54	18,51		15,94		<table> <tr><td>II: 2,51</td></tr> <tr><td>III: 15,86</td></tr> <tr><td>IV: 18,57</td></tr> </table>	II: 2,51	III: 15,86	IV: 18,57	5,807
II	III	IV																									
2,32	15,91	18,73																									
2,91	16,06	18,56																									
2,60	15,88	18,43																									
2,22	15,82	18,62																									
2,48	15,54	18,51																									
	15,94																										
II: 2,51																											
III: 15,86																											
IV: 18,57																											
06-10-83 17h32 	<table> <tr><td>II</td><td>IV</td></tr> <tr><td>10,32</td><td>25,71</td></tr> <tr><td>10,19</td><td>26,30</td></tr> <tr><td>10,03</td><td>26,51</td></tr> <tr><td>10,12</td><td>26,48</td></tr> <tr><td>10,00</td><td>26,35</td></tr> <tr><td>10,48</td><td></td></tr> </table>	II	IV	10,32	25,71	10,19	26,30	10,03	26,51	10,12	26,48	10,00	26,35	10,48		<table> <tr><td>II: 10,19</td></tr> <tr><td>IV: 26,27</td></tr> </table>	II: 10,19	IV: 26,27	5,819								
II	IV																										
10,32	25,71																										
10,19	26,30																										
10,03	26,51																										
10,12	26,48																										
10,00	26,35																										
10,48																											
II: 10,19																											
IV: 26,27																											
08-10-83 19h10 	<table> <tr><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>18,48</td><td>31,70</td></tr> <tr><td>19,00</td><td>31,76</td></tr> <tr><td>18,91</td><td>32,00</td></tr> <tr><td>19,38</td><td>31,38</td></tr> <tr><td>18,73</td><td>32,06</td></tr> <tr><td>18,79</td><td>31,64</td></tr> </table>	III	IV	18,48	31,70	19,00	31,76	18,91	32,00	19,38	31,38	18,73	32,06	18,79	31,64	<table> <tr><td>III: 18,87</td></tr> <tr><td>IV: 31,75</td></tr> </table>	III: 18,87	IV: 31,75	5,844								
III	IV																										
18,48	31,70																										
19,00	31,76																										
18,91	32,00																										
19,38	31,38																										
18,73	32,06																										
18,79	31,64																										
III: 18,87																											
IV: 31,75																											
09-10-83 19h02 	<table> <tr><td>III</td><td>IV</td></tr> <tr><td>12,42</td><td>28,73</td></tr> <tr><td>11,78</td><td>28,18</td></tr> <tr><td>12,05</td><td>28,47</td></tr> <tr><td>11,92</td><td>28,69</td></tr> <tr><td>11,90</td><td>27,96</td></tr> </table>	III	IV	12,42	28,73	11,78	28,18	12,05	28,47	11,92	28,69	11,90	27,96	<table> <tr><td>III: 12,01</td></tr> <tr><td>IV: 28,41</td></tr> </table>	III: 12,01	IV: 28,41	5,856										
III	IV																										
12,42	28,73																										
11,78	28,18																										
12,05	28,47																										
11,92	28,69																										
11,90	27,96																										
III: 12,01																											
IV: 28,41																											

COURRIER DES LECTEURS

Le prix scientifique de la Fondation de France pour 1983 a été décerné à notre ami André Brahic, ce qui nous a fait grand plaisir et nous l'en félicitons très chaleureusement. Nous étions quelques membres du CLEA présents lors de la remise du prix, le 22 février 1984 par le professeur Jean Bernard, Président de l'Académie des Sciences. Nous avons beaucoup apprécié le discours du récipiendaire. Figurez-vous que celui-ci était ému puisque, contrairement à son habitude, il commença par bredouiller quelque peu. Mais rapidement, le naturel reprit le dessus. Tant pour parler des anneaux de Saturne, de la genèse des planètes ou de l'enseignement de l'astronomie, André retrouva la verve avec laquelle il parle toujours des sujets qui le passionnent.

Donnez-nous votre avis

=====
Des lecteurs nous ont écrit pour exprimer le souhait que des "tirés à part" de certains articles des Cahiers Clairaut soient disponibles. Ils pensent que ces documents pourraient être utilisés par leurs élèves pour préparer des exposés, pour enrichir leurs connaissances ou pour toutes autres activités de club ou pour des réalisations de PAE.

Exemples d'articles qui pourraient ainsi être repris : Jupiter et ses satellites (CC7 et 8), Saturne 1980 (CC11), Repères galiléens et étoiles fixes (CC14), vers l'Est ou vers l'Ouest (CC17), genèse des lois de Kepler (CC10, 11, 12), la fabrication d'une lunette astronomique simple (CC15), l'héliolabe (CC18), etc.

Avant de lancer une telle fabrication, le comité de rédaction souhaiterait connaître un peu quels seraient les sujets à retenir en priorité et quels pourraient être les tirages demandés.

Sans engagement de votre part, veuillez nous dire quels sujets vous intéresseraient (l'échantillonnage précédent n'est en rien limitatif) et combien d'exemplaires de chaque sujet vous seraient utiles. Ecrivez sans tarder à G. Walusinski, 26 Bérengère, 92210 St-Cloud.

Les marées à Limoges De Liliane Sarrazin, EN de Limoges, la lettre suivante qui requiert écho et réponse :

"Jusqu'à présent, dans mes cours, j'exposais le phénomène des deux marées hautes par jour jusqu'au jour où mon mari m'affirma qu'il n'y a qu'une marée haute par jour à Singapour. Nous nous documentons et trouvons quelques précisions dans le Grand Atlas de la Mer (Encyclopaedia Universalis). Quelle complexité ! Mon cours s'écroule.

Je lis qu'en certains points de la mer, la marée est nulle, qu'il y a trois ou quatre types de marées :

- diurne (une pleine mer avec cycle de 24 heures, ex Singapour);
- semi diurne (ex côte Atlantique);
- mixte (combinaison des deux types précédents).

"Ainsi à Tahiti, l'effet solaire étant prépondérant sur l'effet lunaire, les marées se produisent chaque jour à la même heure".

Je suppose que le phénomène des marées fait intervenir beaucoup de composantes fort complexes. Quelqu'un pourrait-il m'apporter quelques précisions ? Merci."

Un problème proposé par J-P.Rosenstiehl (Lycée Montesquieu, Le Mans)

Quelques vers d'un poème de Ronsard :

"Il était minuit et l'OURSE
De son char tournait la course
Entre les mains du BOUVIER
Quand le somme vint lier
D'une chaîne sommeillère
Mes yeux clos sous la paupière."

Question : quelle est la date du jour de l'année 1984 correspondant à ce que raconte ce poème. On admettra que le BOUVIER est visible à partir de l'instant du lever d'ARCTURUS et que le poème a été écrit à Paris.

Paris : $\lambda = -9^m 21s$ $\varphi = 48^{\circ}50'11''$
Arcturus 1984: $\alpha = 14^h 14^m 56s$ $\delta = 19^{\circ} 15' 55''$

Le marabout du CLEA Invité par le Club d'astronomie de l'Université du Maine pour parler de l'astronomie au XVII^{ème} siècle, le secrétaire du CLEA n'a pas été peu fier de lire l'annonce de sa conférence dans un journal local et gratuit (Hebdo Le Mans du 19840308) et dans une superbe compagnie. A la page 4 de ce journal, une colonne d'informations (?) "Les astres... si vous y croyez" et cinq annonces dont celle de la conférence d'astronomie, celle d'une voyante-conseil, de deux grands marabouts et d'un radiesthésiste-voyant-medium-hypnotiseur. Le secrétaire du CLEA a été aussitôt nommé aspirant marabout par nos amis du club...

—————
—————

FAITES VOTRE SYSTEME SOLAIRE VOUS-MEMES, DANS LA COUR DE L'ECOLE
--

Un enfant est le Soleil, 6 autres sont les planètes les plus proches; disposez-vous aux distances suivantes:

		distance réelle
Mercure	48 cm	57,90 millions de km
Vénus	88 cm	108,2
Terre	1,2 m	149,6
Mars	1,76 m	227,99
Jupiter	6,4 m	778,37
Saturne	11,0 m	1427,60

Uranus, Neptune et Pluton seraient à 24m, 40m et 48m, donc trop loin pour entrer dans le jeu.

Les enfants tournent autour du Soleil à des vitesses différentes.

Faut-il tourner dans le même sens?

Quelle est la planète qui termine son tour la première ?

(Ce texte est extrait de la "Feuille n°1: LA RONDE DES PLANETES", distribuée aux classes primaires qui visitent le planetarium de Strasbourg. Elle nous a été aimablement communiquée par Agnès Acker)

L'ASTRONOMIE DANS LE CALENDRIER DES PTT

Lien entre le calendrier des PTT et la rotation de la Terre sur elle-même

Les horaires du Soleil, lever, coucher et passage au méridien sont en étroite relation avec le mouvement propre de la Terre. L'étude de ces quantités permet de déterminer la longitude de Paris et de réfléchir un peu sur le nom d'équinoxe, qui sous-entend l'égalité de la durée du jour et de la durée de la nuit.

1°) L'heure du passage du Soleil au méridien qui marque le milieu d'une journée n'est pas utilisée dans les calendriers. On trouve l'heure du lever et celle du coucher du Soleil. L'heure cherchée est en première approximation égale à la demi-somme. Les heures citées dans le calendrier sont en temps universel (pour obtenir l'heure de la montre, ajouter une heure en hiver et deux heures en été).

Le tableau suivant a été établi en notant pour le début de chaque mois H1, heure du lever, Hc, heure du coucher, heure du passage au méridien $(H1+Hc)/2$ et écart à midi $(H1-Hc)/2-12$.

	H1	Hc	H1+Hc	$(H1+Hc)/2$	écart à midi
janvier	7h 46	16h 03	23h 49	11h 54,5	-5 min
février	7h 23	16h 46	24h 10	12h 05	+5
mars	6h 35	17h 32	24h 07	12h 03,5	+3
avril	5h 31	18h 20	23h 50	11h 55	-5
mai	4h 33	19h 04	23h 36	11h 48	-12
juin	3h 54	19h 44	23h 38	11h 49	-11
juillet	3h 53	19h 56	23h 49	11h 54	-6
août	4h 25	19h 28	23h53	11h 57	-3
septembre	5h 08	18h 32	23h 40	11h 50	-10
octobre	5h 51	17h 29	23h 20	11h 40	-20
novembre	6h 38	16h 30	23h 18	11h 39	-21
décembre	7h 24	15h 55	23h19	11h 39	-21 min

Conclusions: le Soleil ne passe pas au méridien sud à 12 h TU, il passe quelques fois en avance, plus souvent en retard, sûrement certains jours à midi, mais l'écart peut aller jusqu'à 21 min).

Ce phénomène est connu sous le nom d'équation du temps. Il est dû au fait que la Terre décrit autour du Soleil une trajectoire elliptique, inclinée sur l'équateur.

Le temps universel, TU et le temps de nos montres par conséquence correspond à un Soleil fictif, appelé Soleil moyen qui serait animé d'un mouvement uniforme en projection sur le plan équatorial, parmi les étoiles. Au bout d'une année, les deux Soleils coïncident à nouveau et donc la moyenne des écarts pour une année devrait être nulle; or on trouve -9min.

2°) Longitude de Paris.

Ainsi, en moyenne sur une année, le Soleil passe au méridien de Paris avec 9 min d'avance. Cet écart moyen est simplement l'écart en longitude par rapport au méridien origine du TU, le méridien de Greenwich. Paris a donc une longitude est (car le Soleil passe plus tôt au méridien de Paris) correspondant à l'arc décrit par le Soleil en 9 minutes. Puisque le Soleil décrit 360° en 24 heures, il décrit environ 2° en 9 min. L'heure de passage du Soleil au méridien au long de l'année, nous a permis de déterminer l'heure de passage du Soleil moyen et donc la longitude de Paris.

3°) Passage du Soleil au méridien en un lieu donné.

Nous avons vu que les renseignements du calendrier sont donnés pour Paris (longitude 2° est; latitude 49° nord). Pour prévoir l'heure de passage du Soleil au méridien d'un autre lieu, par exemple Besançon (longitude 6° est; latitude 47,25°) il

suffit de corriger de la différence de longitude, soit un peu moins de 4°, ce qui correspond à 15 minutes. Comme Besançon est à l'est de Paris, le Soleil passe au méridien de Besançon 15 minutes avant de passer à celui de Paris: il est donc midi à Besançon 15 minutes avant qu'il soit midi à Paris.

Par contre, pour les levers et couchers du Soleil, il y a en plus une autre correction, nulle si on est à la même latitude que Paris, ou si l'astre est sur l'équateur, mais pouvant atteindre de grandes valeurs. Il y a par exemple un écart de l'ordre de 24 min sur le lever et le coucher du Soleil entre Paris et Marseille, au moment des solstices.

4°) Durée du jour.

On sait que la longueur du jour varie suivant les saisons; le jour croît en hiver et au printemps, décroît en été et en automne. Il est intéressant d'examiner les variations au voisinage des solstices et des équinoxes.

Au voisinage des solstices, la durée du jour ne varie presque pas, atteignant 16h 07min en juin et 8h 11 min en décembre. La variation est d'environ 1 min en 3 ou 4 jours.

Au contraire, la durée du jour varie très vite au moment des équinoxes, avec une variation moyenne de 3,6 min par jour.

Le jour de l'équinoxe, on remarque avec stupeur que le jour dure 12 heures et 6 ou 7 minutes alors que l'on s'attendait à une durée de 12 heures. Cette différence provient de la réfraction atmosphérique qui élève l'image des astres au dessus de l'horizon, et en fait on voit le Soleil alors qu'il est déjà sous l'horizon. Aux solstices, le phénomène de réfraction est encore plus important et atteint 9 minutes.

(... à suivre)

Jean-Paul Parisot, François Puel et Françoise Suagher

* * * * *

REEDITONS

Les Fascicules de la Formation continue des Maîtres, de l'Université Paris XI, ont été réédités. On peut se les procurer auprès de L. Gouguenheim, Laboratoire d'Astronomie Bât 426, Centre Scientifique d'Orsay Université Paris XI 91405 ORSAY CEDEX Bonne nouvelle: leur prix n'a pas augmenté!

n°1 L'observation des astres et le repérage dans l'espace et dans le temps : 20f

n°2 Les mouvements des astres : 25f

n°3 La lumière messagère des astres : 25f

n°4 Naissance, vie et mort des étoiles : 25f

rappelons aussi que le n°5 "renseignement pratique et bibliographie" vient de paraître au prix de 25f.

Les chèques sont à faire à l'ordre de L. Gouguenheim

* * * * *

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