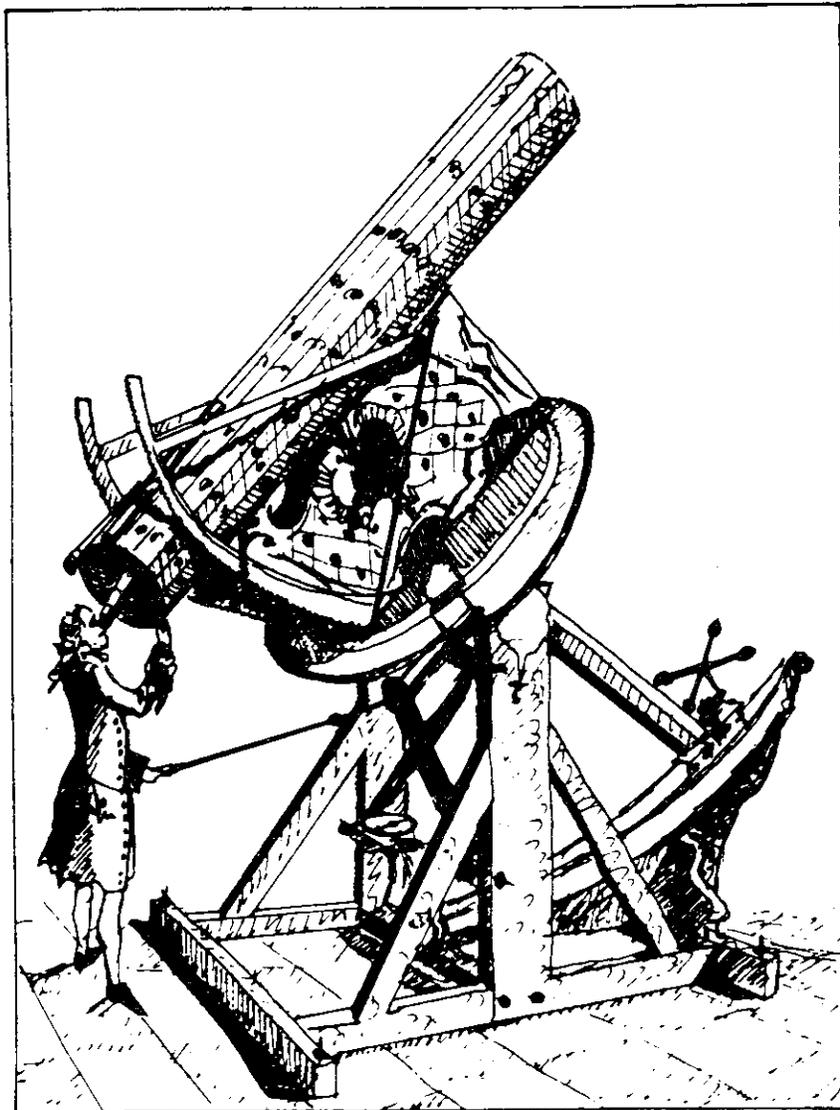


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°29 - été 1985

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 29 Eté 1985

CLEAclea ... réabonnez-vous ! ... 3
Chronique du CLEA ... 4
L'objet Univers ... 5
Observations en classe de 4ème ... 13
Quand deux étoiles jouent à cache-cache ... 18
Lectures pour la Marquise ... 21
Les potins de la Voie Lactée ... 25
Des plans pour la comète ... 27
Courrier des lecteurs ... 35
A propos de la durée du crépuscule ... 37
L'Astronomie et le philosophe: II-Astronomie et Mathématiques ... 38
En attendant son retour ...(2) ... 45

EDITORIAL

Elle revient, la comète ! Et l'intérêt commence à se porter sérieusement sur elle. Nous vous offrons dans ce numéro la suite du feuilleton de K. Mizar "En attendant son retour" et la première partie d'un article rédigé pour vous par Michel Toulmonde grâce auquel vous saurez tout sur les conditions d'observation.

L'équipe de la rédaction a décidé d'augmenter un peu le volume de ce numéro pour vous permettre de profiter tout de suite des articles que nous ont envoyés Jean Ripert, à propos d'un travail réalisable en classe de 4ème, les collègues de Besançon, concernant l'un des lauréats du prix scientifique Philips et Béatrice Sandré qui a rédigé la conférence de Jean Schneider sur l'objet Univers, donnée lors de l'Assemblée Générale du CLEA en janvier 1985. Malgré cette augmentation du nombre de pages, nous avons dû reporter à des numéros ultérieurs la fin du feuilleton cosmologique de Henri Andrillat, l'article que plusieurs d'entre vous nous ont demandé à propos de la construction d'une sphère armillaire, une expérience à l'école élémentaire sur l'observation de la Lune... Nous avons engagé cette dépense supplémentaire en faisant confiance à l'avenir: vous ne vous êtes pas tous réabonnés, tant s'en faut ! Nous comptons sur le rappel inséré tout au long de ce numéro pour que vous le fassiez rapidement maintenant. Merci à l'avance.

La Rédaction

FICHE D'ADHESION AU CLEA (1985) ET D'ABONNEMENT AUX CAHIERS CLAIRAUT

Nom (en caractères d'imprimerie) .....

Adresse .....

- renouvelle sa cotisation au CLEA
se réabonne aux Cahiers Clairaut (n° 29 à 32)
désire recevoir la collection complète des numéros parus (n°1 à 28) (prix:250f)
désire adhérer au CLEA
s'abonne aux Cahiers Clairaut (n° 29 à 32)

tarifs: {cotisation seule: 25f; abonnement seul (n°29 à 32) 50f (soutien 75f)
abonnement et cotisation: 70f (soutien: 100f)

LIBELLER LES CHEQUES A L'ORDRE DU CLEA

Retourner la commande à: G. Walusinski, 26 Bérengère 92210 SAINT-CLOUD.



## Chronique du C.L.E.A.

### Les stages

===== Des stages s'organisent dans les académies, là où des Collègues prennent l'initiative d'en organiser ou d'en proposer aux M.A.F. Voici des échos.

D'une lettre de Jean Ripert (La Garde, Var) : "Le stage que j'avais proposé dans le cadre de la MAF semble bien lancé, après avoir failli capoter (il n'avait pas été retenu comme prioritaire ; traduction, pas de remboursement du séjour pour les stagiaires). Il durera cinq jours (du 21 au 25 octobre). Nous serons hébergés dans un village de vacances à Rocbaron, entre Toulon et Brignoles. Je ferai visiter les lieux à Jean-Louis Heudier en avril. Nous attendons maintenant les candidats. Le Chef de la Mission soutient ce genre d'action, nous en avons profité pour proposer pour l'année suivante un stage d'une durée minimum de huit jours de manière à pouvoir toucher également des instituteurs."

D'une lettre de Jacques Vialle (La Rochelle) : "L'équipe du stage de Rochefort a décidé de continuer sur sa lancée : nous organisons en mai une journée d'information pour les instituteurs du département, présentation de diapositives, construction de maquettes simples, etc. Nous ne savons pas encore combien de personnes viendront... Il semble qu'il y ait une certaine demande de la part des instituteurs, y compris dans les écoles maternelles, ce qui n'est pas un mince problème. Selon le succès de la journée du 29 mai au cours de laquelle le CLEA et les Cahiers Clairaut seront présentés, nous essaierons de développer notre action vers les écoles élémentaires."

D'une lettre de Daniel Toussaint (Aix-en-Othe, Aube) : " Dans le prochain numéro du PAF, le stage d'astronomie départemental (trois jours) que nous avons préparé Elisabeth Plé et moi, est accepté. Il reste à espérer que le nombre des candidats sera suffisant ; je compte téléphoner aux Collègues susceptibles d'être intéressés. Pour ce qui est des stages, j'ai l'impression que les critères de choix obéissent plus à des modes qu'à des arguments raisonnés. J'ai été scandalisé en lisant le BOEN n°11 du 14/03/85 : dans la longue liste des universités d'été financées par le ministère, j'ai trouvé surtout de l'informatique et pas d'astronomie."

D'une lettre d'Eric Varanne (Jargeau, Loiret) : "En ce qui concerne les stages PAF en astronomie, il y a progrès, certains obstacles administratifs ont été surmontés. J'anime par ailleurs un stage de six jours qui se terminera le 19 avril."

A Paris, les relations du CLEA avec la Mission académique restent compliquées. Le CLEA avait proposé un stage de six mercredis après midi (donc aucun frais pour la MAF). Réponse : "Sur avis des commissions qui se sont tenues du 28 janvier au 1 er février 1985, la Mission réunie le 11 février 1985 a décidé de ne pas retenir votre projet de stage pour les raisons suivantes : 1) il n'y a eu que 6 candidatures en 84-85 ; 2) ce stage sera donc regroupé avec un stage interacadémique sur le même thème, proposé par l'académie de Versailles." Conclusion pratique : les lecteurs des CC de la Région parisienne qui seraient intéressés par des réunions d'information d'échanges ou de visites d'observatoires, le mercredi après-midi, écrivez donc au secrétariat du CLEA. A-t-on tellement besoin de la bénédiction (gratuite) de la MAF pour organiser notre travail conformément aux vœux de ceux qui voudraient y participer ?

### Décentralisation

===== Dans l'académie de Nantes, notre Collègue J.-P. Rosenstiehl (Le Mans) a trouvé deux Collègues pour représenter le CLEA dans les autres départements de la Région : Mme Danièle Chauvat à Nantes et Jean-Michel Prime à Chevancé (Orne). Un Bon exemple de décentralisation à imiter.

L'OBJET UNIVERS

Note de la Rédaction: Nous avons le plaisir de reproduire ci-dessous le texte de la conférence donnée par Jean Schneider lors de l'Assemblée Générale du CLEA en janvier 1985. Nous remercions Béatrice Sandré qui a rédigé ce texte à partir de ses notes et Jean Schneider qui a bien voulu relire le texte avant sa publication.

L'astronomie traditionnellement étudie les astres dans leur diversité. La cosmologie elle, n'étudie qu'un seul objet, l'Univers global, accessible aux observations. Elle doit observer, décrire la composition de l'Univers. C'est d'abord une géographie de l'Univers. Mais la vitesse de la lumière étant finie,

REGARDER LOIN, C'EST REGARDER DANS LE PASSE

La cosmologie est donc aussi l'histoire de l'Univers.

Lorsqu'on observe l'Univers, on constate d'abord qu'il est peuplé de galaxies et qu'à très grande échelle, elles sont réparties de façon uniforme. L'Univers peut être assimilé à un "gaz" de galaxies homogène et isotrope. Il a une densité uniforme ρ et sa géométrie, en tout point à symétrie sphérique, est caractérisée par un "rayon de courbure" R.

En 1929, Hubble montre sur un échantillon de galaxies qu'elles présentent un décalage spectral vers le rouge proportionnel à leur distance. Il interprète ce décalage comme un effet Doppler-Fizeau et énonce la loi qui porte son nom : les galaxies s'éloignent les unes des autres avec une vitesse proportionnelle à leur distance. Autrement dit,

L'UNIVERS EST EN EXPANSION ISOTROPE

Son rayon de courbure et sa densité sont des fonctions du temps : R(t) et ρ(t).

Considérant un élément d'Univers de volume unité, son énergie cinétique est proportionnelle au carré de sa vitesse et donc à (Ḣ/R)²; Son énergie potentielle, d'origine gravitationnelle, est proportionnelle à G . ρ(t) (G est la constante de gravitation universelle et Ḣ représente dR/dt).

La loi de conservation de l'énergie permet d'écrire une relation entre énergie cinétique et énergie potentielle qui régit la variation de R en fonction du temps :

( Ḣ / R )² = G . ρ

Cependant, la géométrie de l'Univers étant liée à son contenu matériel, on devra plutôt utiliser les lois de la mécanique relativiste, les équations d'Einstein. Elles permettent d'établir que Ḣ̄ = d²R/dt² est négatif quel que soit t. La courbe R = f(t)

a toujours une concavité tournée "vers le bas". Ceci impose dans l'histoire de l'Univers une date à laquelle R était nul. Cet instant, appelé "Big Bang" sera choisi comme origine des temps : si R = 0, t = 0 (fig. 1).

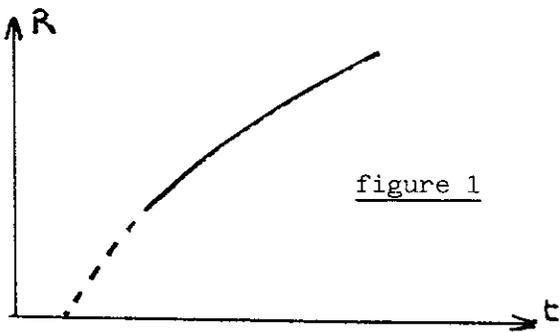


figure 1

Plus précisément, trois évolutions de l'Univers sont envisageables selon sa géométrie :

- \* si l'espace est euclidien, son expansion sera éternelle, R augmentant comme t<sup>2/3</sup>
- \* si l'espace est hyperbolique, son expansion sera aussi éternelle et R augmentera plus vite que t<sup>2/3</sup>
- \* si l'espace est sphérique, son expansion sera suivie d'une contraction

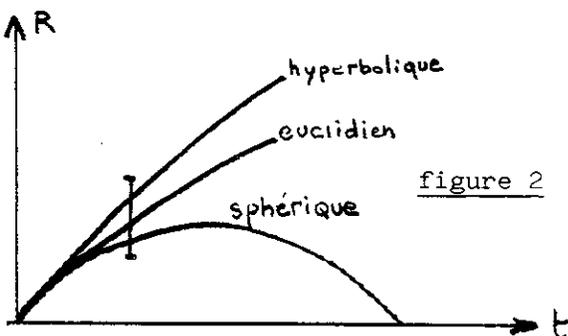
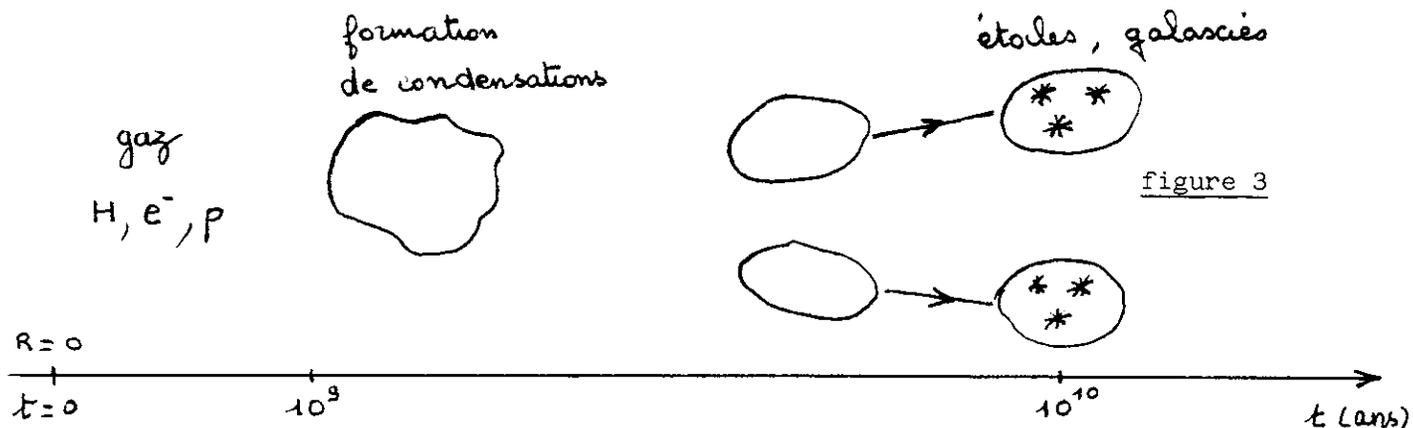


figure 2

La connaissance actuelle de l'Univers, ne permet pas de savoir sur quelle courbe il se place.

Les grands traits de l'histoire cosmique

A l'heure actuelle, l'Univers est constitué de galaxies, elles mêmes formées d'étoiles et de gaz. Ces galaxies résulteraient de condensations de nuages gazeux qui se seraient produites lorsque l'Univers était agé d'un milliard d'années environ.

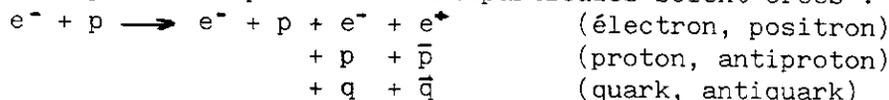


Avant cette période, l'Univers était rempli d'un gaz, essentiellement de l'hydrogène neutre (H) ou ionisé ( $e^-$ , p).

La densité  $\rho$ , masse par unité de volume, est proportionnelle à  $1/R^3$ . Lorsqu'on s'approche de l'origine des temps,  $R$  tend vers zéro et  $\rho$  vers l'infini. Le gaz est de plus en plus comprimé et donc de plus en plus chaud. On peut montrer qu'en première approximation la température  $T$  du gaz est inversement proportionnelle à  $R$ :

$$R.T \approx \text{constante}$$

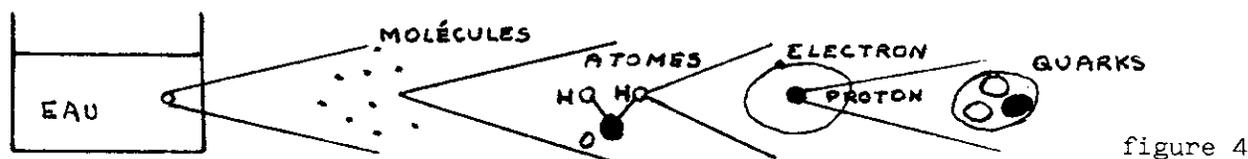
et puisque l'énergie cinétique des particules est proportionnelle à la température :  $E_c \sim kT$ , lorsque  $R$  tend vers zéro, la température du gaz et donc l'énergie cinétique des particules tendent vers l'infini. Dans ses "début" l'Univers était assez chaud pour que, lors de chocs, des paires de particules-antiparticules soient créées :



L'univers était rempli de particules et d'antiparticules en équilibre thermique. La cosmologie, géographie et histoire de l'Univers est alors régie par les lois de la physique, physique des particules, physique de l'infiniment petit. D'où le détour nécessaire par une ...

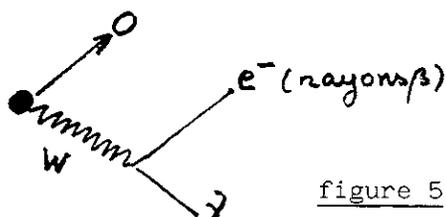
Plongée dans l'infiniment petit

La physique atomique nous apprend que la matière, l'eau par exemple, est constituée de molécules. Ces molécules sont constituées d'atomes et ces atomes d'électrons, de protons et de neutrons. Neutrons et protons sont constitués de quarks et, pour l'instant, cela semble s'arrêter là.



Le neutron, lorsqu'il est libre, est une particule instable. Par radioactivité  $\beta$  il se désintègre en proton. Cette désintégration est due à l'interaction faible.

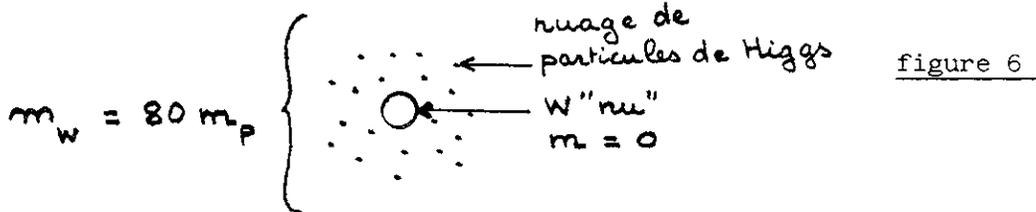
La théorie d'unification des forces électromagnétiques et faibles de Glashow, Salam et Weinberg décrit cette interaction par un échange entre les partenaires de la réaction d'un boson appelé boson intermédiaire et noté  $W$ .



La théorie électrofaible prédisait l'existence de trois bosons intermédiaires  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ . Ils ont été mis en évidence en 1983 au CERN par Rubbia et al. Leurs masses ont pu être mesurées et concordent parfaitement avec les prédictions :

$$m_W = 80 m_{\text{proton}} \qquad m_Z = 90 m_{\text{proton}}$$

En réalité, ces bosons "nus" doivent théoriquement avoir une masse nulle, mais ils sont toujours couplés à des particules appelées particules de Higgs. Seule la masse de l'ensemble est observable.



La protohistoire

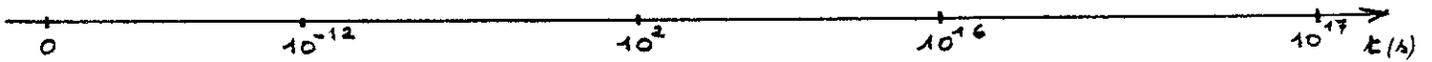
Les connaissances actuelles en physique des particules permettent donc de retracer les principales étapes de l'histoire de l'Univers et en particulier de ses premiers instants.

Vers  $10^{-5}$ s après le Big Bang, lorsque la température était de  $10^{12}$  K, l'Univers était rempli de quarks, électrons, neutrinos, de leurs antiparticules ainsi que de photons. Les quarks se sont alors regroupés pour former des protons et des neutrons. Les neutrons, instables, se désintègrent progressivement en protons; mais au bout de 100 s environ, la température est suffisamment basse pour que les neutrons restant et des protons se regroupent et forment de l'Hélium. L'Univers contient alors 75 % d'hydrogène et 25 % d'Hélium.

Les éléments plus lourds, et en particulier le Carbone et l'Oxygène ne seront synthétisés que beaucoup plus tard ( $10^{16}$  s) dans le coeur des étoiles.



figure 7



Le rayonnement à 3 K et ses contradictions

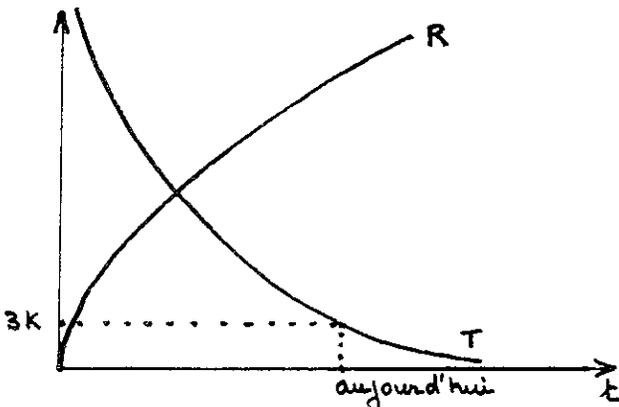


figure 8

En 1965, deux américains Penzias et Wilson détectent par hasard un rayonnement présentant une isotropie presque parfaite, identique à celui d'un corps noir de température 3K (c'est donc dans le domaine radio qu'il a été observé). Subissant l'expansion de l'Univers, sa température a diminué comme l'inverse de R.

Son existence avait été prédite vingt ans plus tôt par G.Gamow comme fossile d'une époque reculée où les photons étaient en équilibre avec la matière. Quelle est cette époque ?

L'Univers contient 75 % d'hydrogène, hydrogène à l'état neutre compte tenu de sa température. Les interactions photons-matière sont pratiquement inexistantes; l'Univers est transparent. Mais plus l'Univers était jeune, plus R était faible et T élevé. Au dessus de 4200 K l'Hydrogène était ionisé; les photons interagissaient avec la matière, l'Univers était opaque.

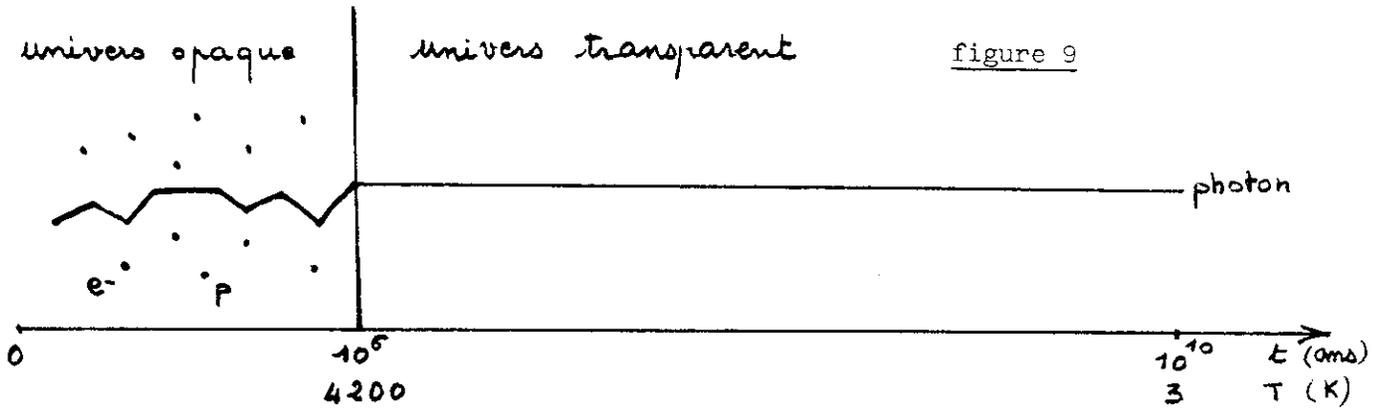


figure 9

Les photons que nous recevons proviennent de l'époque où l'Univers est passé de l'opacité à la transparence, alors que sa température était de 4200 K. C'est le signal le plus ancien et donc le plus lointain que nous pouvons recevoir. D'où provient-il ?

Les photons se déplacent à la vitesse  $c$ ; pendant le temps  $t$ , ils parcourent  $l = ct$ . Dans un repère  $l, t$  un photon décrit une droite de pente  $c$ .  $O$  étant notre position actuelle dans ce repère, chacun des photons qui nous parviennent maintenant a décrit au cours du temps l'une des génératrices d'un cône de sommet  $O$ , dit cône de lumière.

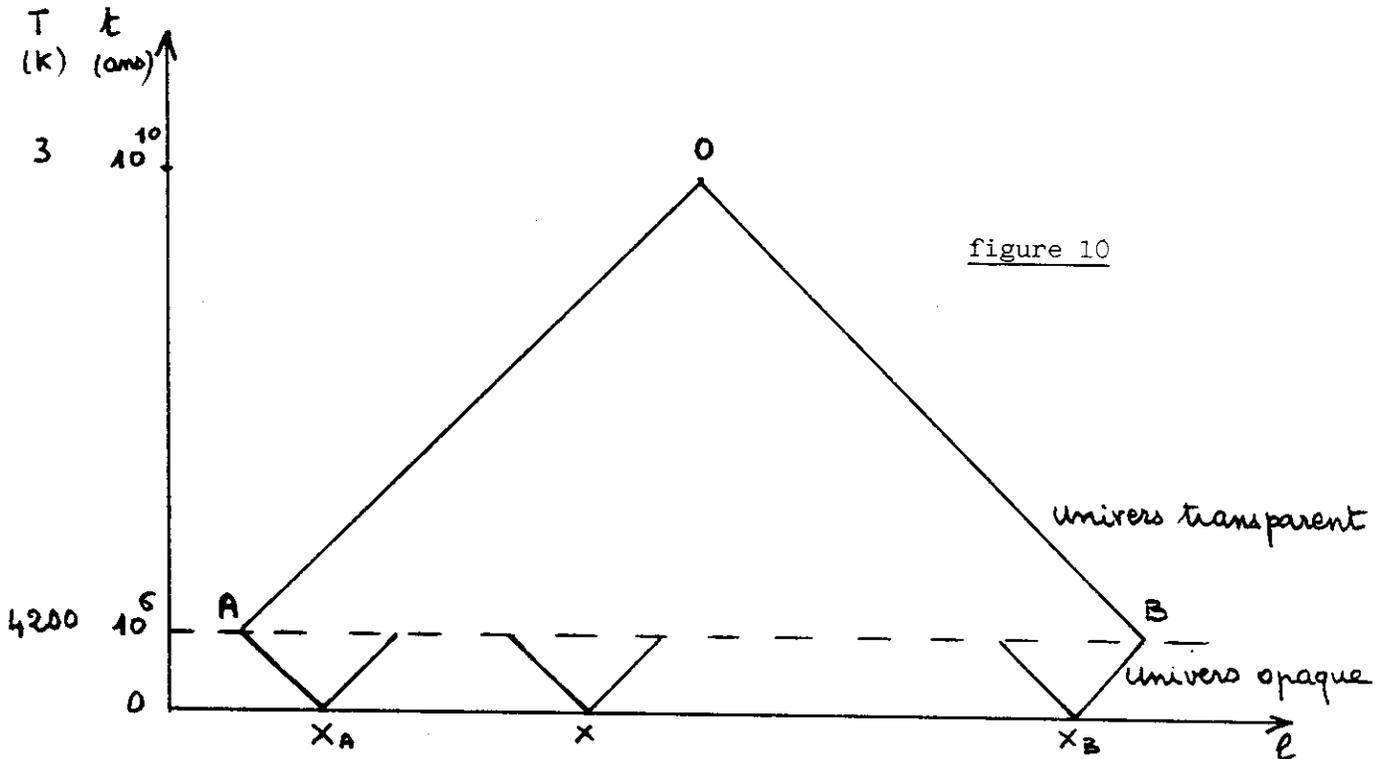


figure 10

Deux photons du rayonnement à 3 K nous parvenant de deux directions opposées, proviennent de deux points A et B. A cause de l'isotropie du rayonnement on a :

$$\left| T_A^{\text{obs}} - T_B^{\text{obs}} \right| < 10^{-4} \text{ K}$$

où  $T_A^{\text{obs}}$  et  $T_B^{\text{obs}}$  sont les températures observées aujourd'hui dans les directions de A et de B. Or cette quasi égalité pose un problème grave. En effet, par définition, aux points A et B eux-mêmes  $T^{\text{em}} = T_A = T_B = 4200 \text{ K}$ . Soient  $t_A$  et  $t_B$  les époques où  $T = 4200 \text{ K}$  en A et B. Il leur correspond un décalage spectral cosmologique  $z_A$  et  $z_B$ . A cause de la relation :

$$T^{\text{obs}} = \frac{T^{\text{em}}}{1 + z}$$

on déduit de  $T_A^{\text{em}} = T_B^{\text{em}} = 4200 \text{ K}$  et  $T_A^{\text{obs}} = T_B^{\text{obs}}$  que  $z_A = z_B$  donc  $t_A = t_B$ .

Comment se fait-il que en A et B la température du gaz cosmologique soit de 4200 K exactement au même moment ? Il y a là un problème.

En effet, un évènement X contemporain du Big Bang, n'a pu influencer que les points situés à l'intérieur du cône de sommet X (figure 10). Les points A et B ne peuvent se trouver à l'intérieur d'un même cône de sommet X. Alors, comment expliquer  $t_A = t_B$  ? C'est le paradoxe de l'horizon.

Solution du paradoxe de l'horizon : "l'inflation"

la propagation de la lumière en relativité générale

En écrivant  $l = c t$ , on a supposé les distances invariables, on a négligé l'expansion de l'Univers. Pour en tenir compte, on doit utiliser les équations de la relativité générale. Le mouvement d'un photon est caractérisé par :

$$ds^2 = c^2 dt^2 - R^2 \theta_r dr^2 = 0$$

$\theta_r$  dépend de la géométrie de l'espace mais est voisin de 1 si r reste petit, ce que l'on supposera. En posant  $dl = R dr$  on peut donc écrire :

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2 = 0 \quad \text{soit} \quad dl = c dt = R dr \quad \text{et} \quad r = \int \frac{c dt}{R(t)}$$

R étant une fonction croissante du temps, lorsque t augmente, r croît de moins en moins vite. C'est l'effet d'entraînement de l'expansion. Les cônes de lumière sont curvilignes. Mais le paradoxe de l'horizon n'est pas pour autant résolu, le calcul montre qu'il est même accru.

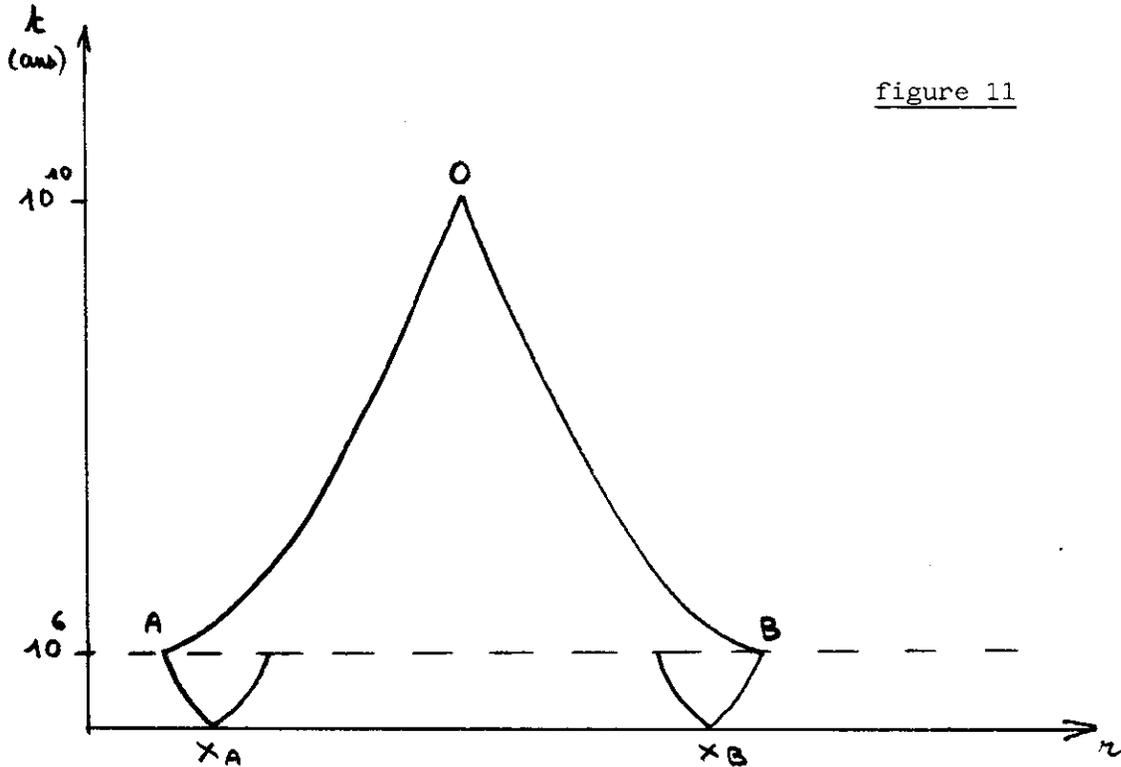


figure 11

les particules de Higgs dans un gaz à haute température en expansion

La densité d'un gaz "normal" est inversement proportionnelle à son volume :

$$\rho \sim V^{-1} = R^{-3}$$

L'Univers étant en expansion, son rayon de courbure augmente et sa densité diminue.

Les théories de grande unification qui unifient les interactions électrofaibles et nucléaires semblent imposer l'existence de particules, déjà mentionnées au sujet des bosons W et Z, les particules de Higgs. Elles n'ont jamais à ce jour été détectées mais on prévoit certaines de leurs caractéristiques : un spin nul, une masse comprise

entre  $10^4$  et  $10^5$  GeV d'après la théorie électrofaible de Weinberg et Salam, et de  $10^{15}$  GeV d'après les théories de grande unification. Ces dernières attribuent au gaz de Higgs une propriété très remarquable : pour des températures voisines de  $10^{28}$  K ( $m_{\text{Higgs}} = kT$ ) sa densité est indépendante de la température (alors que la densité d'un gaz de photons, électrons, quarks, neutrinos ... est proportionnelle à  $T^4$ ). Dans ce domaine de température, l'expansion de l'Univers a donc été accompagnée d'une création considérable de particules de Higgs afin de maintenir, malgré l'expansion, leur densité constante. Ce phénomène aurait duré de  $10^{-35}$  s à  $10^{-30}$  s après le Big Bang, temps pendant lequel la densité de l'Univers est donc restée constante.

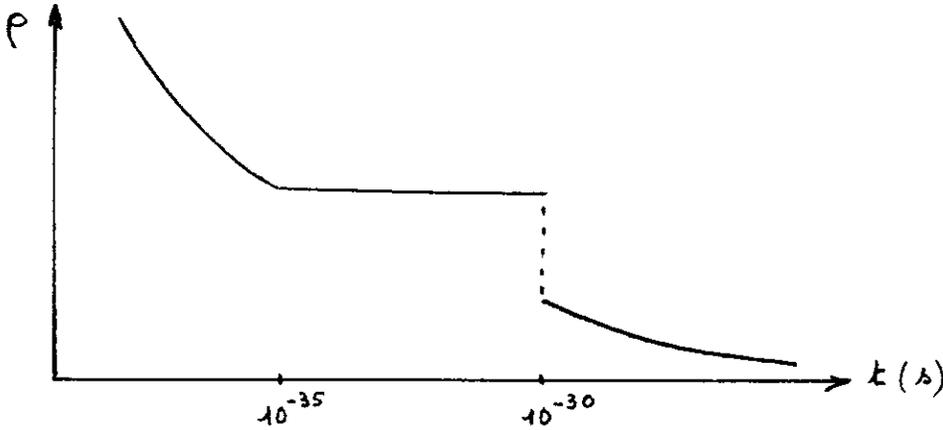


figure 12

L'équation régissant l'expansion de l'Univers :  $E_{\text{cin}} \approx E_{\text{pot}}$  ou  $\frac{\dot{R}}{R} = \sqrt{\rho G}$  s'écrit de  $10^{-35}$  à  $10^{-30}$  s :  $\frac{\dot{R}}{R} = \text{constante}$ . Sa solution est :

$$R = R_0 \exp(t \sqrt{\rho G})$$

C'est "l'explosion" exponentielle de  $R(t)$  appelée INFLATION COSMIQUE. Avant et après l'inflation, les cônes de lumière ont un comportement normal. Pendant l'inflation, de  $10^{-35}$  à  $10^{-30}$  s, il y a une explosion exponentielle de ces cônes. C'est très bref, mais le caractère est suffisamment violent pour que le point C puisse être une cause d'influence unique sur A et B (figure 13). Il devient possible qu'une cause commune ait équilibré les températures  $T_A$  et  $T_B$  au même instant en A et B. L'inflation cosmique résout le paradoxe de l'horizon<sup>A</sup>. Cette solution a été proposée par A. Guth en 1981.

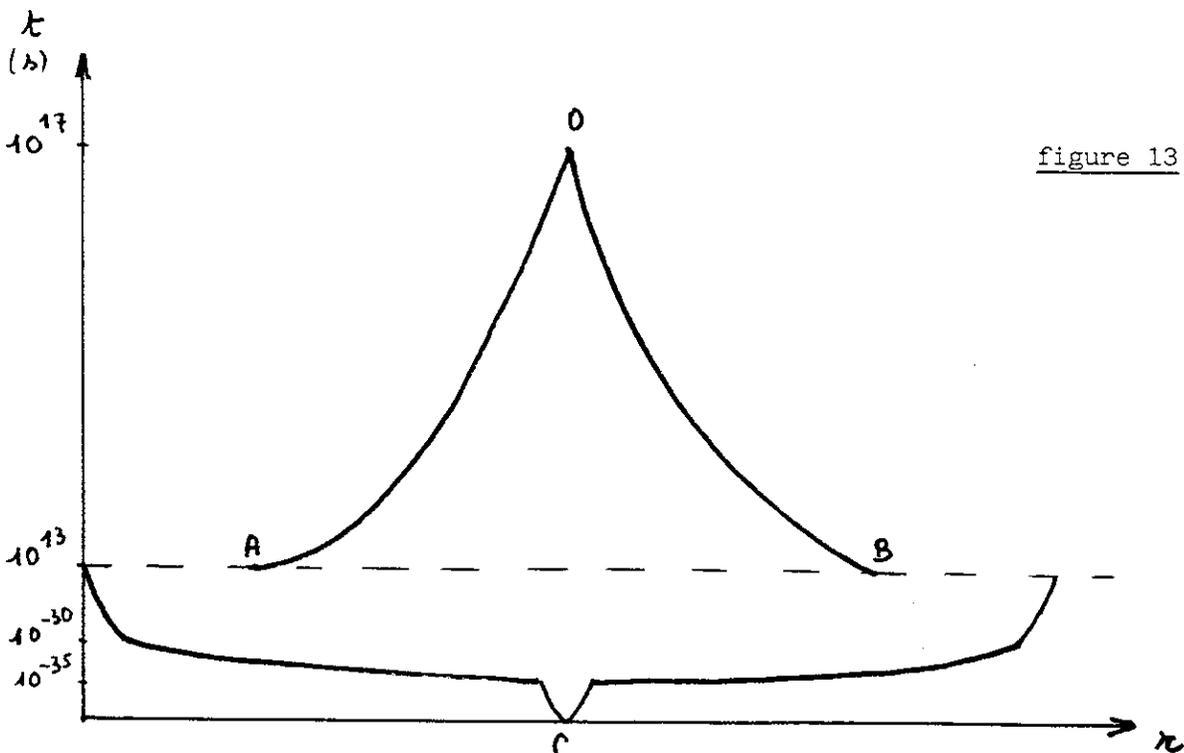


figure 13

Eschatologie

Jusqu'ici nous avons évoqué le passé; mais maintenant il y a des spéculations cosmologiques qui commencent à s'intéresser à l'avenir à très long terme de l'Univers et même à ultra long terme.

Parlons un instant pour décrire la figure 14 à l'indicatif et au futur. Il faudrait en réalité parler au conditionnel. Les deux axes parallèles représentent l'un les températures, l'autre le temps. Aujourd'hui, l'Univers est âgé de  $10^{10}$  ans environ. Vue l'échelle choisie, nous sommes tout à fait "en bas" de l'axe des temps. Nous connaissons une évolution normale des étoiles, mais leur combustible nucléaire va progressivement s'épuiser. Après l'explosion donnant lieu au phénomène de supernova, elles

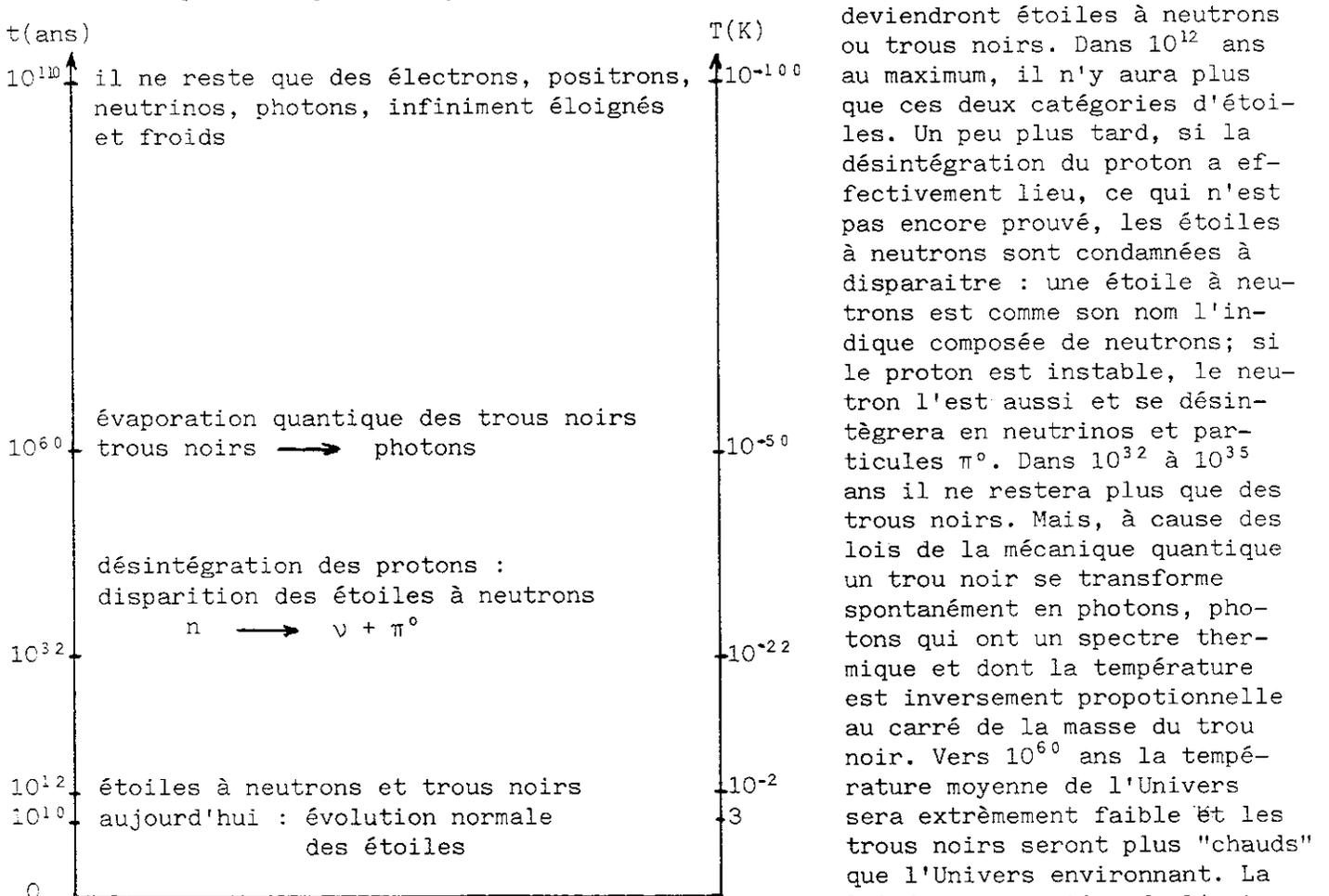


figure 14

deviendront étoiles à neutrons ou trous noirs. Dans  $10^{12}$  ans au maximum, il n'y aura plus que ces deux catégories d'étoiles. Un peu plus tard, si la désintégration du proton a effectivement lieu, ce qui n'est pas encore prouvé, les étoiles à neutrons sont condamnées à disparaître : une étoile à neutrons est comme son nom l'indique composée de neutrons; si le proton est instable, le neutron l'est aussi et se désintégrera en neutrinos et particules  $\pi^0$ . Dans  $10^{32}$  à  $10^{35}$  ans il ne restera plus que des trous noirs. Mais, à cause des lois de la mécanique quantique un trou noir se transforme spontanément en photons, photons qui ont un spectre thermique et dont la température est inversement proportionnelle au carré de la masse du trou noir. Vers  $10^{60}$  ans la température moyenne de l'Univers sera extrêmement faible et les trous noirs seront plus "chauds" que l'Univers environnant. La loi de conservation de l'entropie permet alors un déversement des trous noirs dans le reste de l'Univers. C'est l'évaporation

quantique des trous noirs. Elle dure de  $10^{60}$  à  $10^{100}$  ans. Dans  $10^{110}$  ans, il ne restera plus que des électrons, des positrons, des photons et des neutrinos isolés, c'est à dire à des distances kilométriques et il ne se passera plus jamais rien. Voilà le scénario, simplifié il faut bien le dire, auquel on est conduit lorsqu'on déroule de façon logique la mécanique de l'expansion de l'Univers (on trouvera plus de détails dans le livre d'Islam, "le destin ultime de l'Univers" chez Belfont). C'est l'eschatologie officielle mais peut-être trop simpliste !

En effet, le rapport entre l'âge de l'Univers pendant la période d'inflation et son âge aujourd'hui est environ  $10^{50}$ . Entre aujourd'hui et ces temps eschatologiques il est de  $10^{100}$  soit  $10^{50}$  fois plus :

$$\frac{t \text{ inflation}}{t \text{ aujourd'hui}} = 10^{-52}$$

$$\frac{t \text{ aujourd'hui}}{t \text{ eschatologique}} = 10^{-100}$$

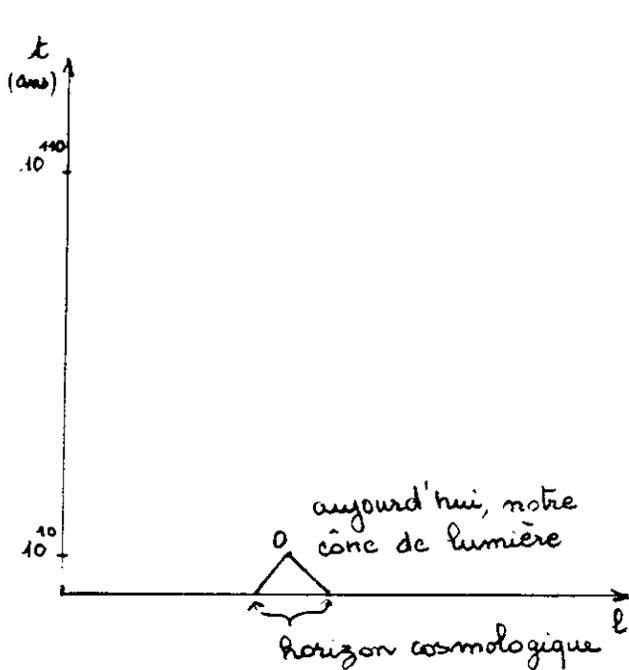


figure 15

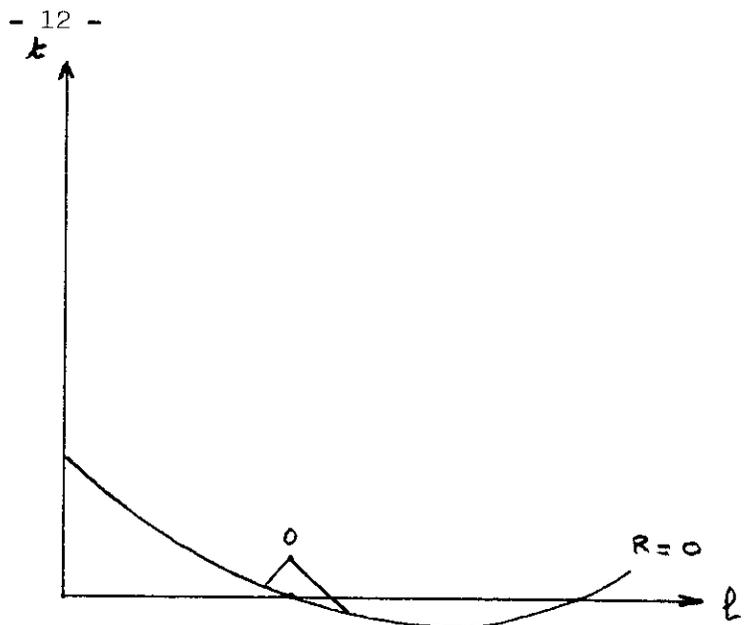


figure 16

Avec un axe des temps gradué de 0 à  $10^{110}$  ans, représentons le cône de lumière au sommet duquel nous nous trouvons aujourd'hui et qui nous permet de regarder dans le passé (figure 15). Le trait de crayon, aussi fin soit-il, ne pourra jamais nous montrer la période d'inflation.

Cette extrapolation extraordinaire semble naïve et rappelle celle qui au XIX siècle identifiait la Galaxie, seule connue, à tout l'Univers.

Aujourd'hui nous n'avons, par l'horizon cosmologique, qu'une vision extrêmement limitée de l'Univers. Au delà de ce qui nous est accessible, la distribution de la matière est peut-être inhomogène. De plus, il n'y a aucune raison pour que le Big Bang (caractérisé par  $R=0$ ) ait eu lieu partout au même moment. Dans le repère  $l, t$  la courbe  $R=0$  n'a aucune raison d'être la droite  $t=0$  (figure 16).

Au fur et à mesure de l'expansion, notre cône de lumière "remontera" et donnera accès à des régions de l'Univers toujours plus grandes (figure 17). Dans  $10^{50}$  ans nous pourrions par exemple être soumis à un Big Bang qui réchaufferait l'Univers et provoquerait une nouvelle contraction. Ce Big Bang retardé ne nous influence pas encore car il est trop loin. En ce sens là, regarder dans le futur c'est regarder loin aussi !

N'ayant jamais accès qu'à un volume limité de l'Univers, au fur et à mesure de l'expansion, on en découvrira toujours plus et

LA COSMOLOGIE NE SERA JAMAIS TERMINEE.

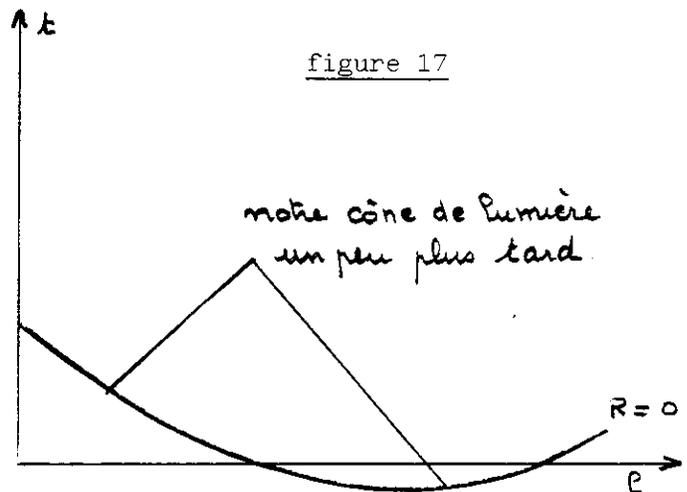


figure 17

Une dernière question que l'on peut se poser, c'est celle du statut de l'instant  $t=0$ . Il est possible que ce soit une véritable origine. Mais il est aussi possible que ce soit une phase transitoire nous séparant d'une période de contraction précédente. Nous avons accès au passé soit par les photons, soit en étudiant sur place des fossiles, l'abondance d'hydrogène mesurée localement dans les quelques kiloparsecs qui nous entourent par exemple. S'il existait des fossiles suffisamment résistants pour survivre au Big Bang, nous saurions éventuellement ce qui s'est passé avant. Mais actuellement, aucune théorie ne permettant de décrire la période avant  $10^{-43}$  s, nous n'en connaissons pas. On n'imagine rien qui puisse résister à cet "incendie cosmique" que serait dans ce cas là le Big Bang.

OBSERVATIONS EN CLASSE DE 4<sup>ème</sup>

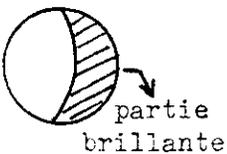
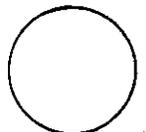
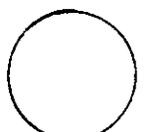
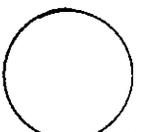
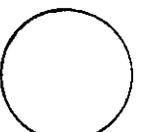
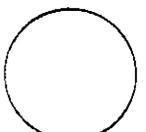
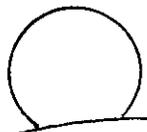
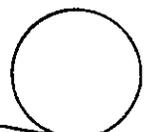
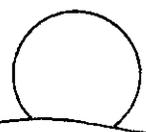
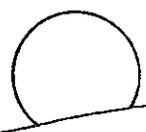
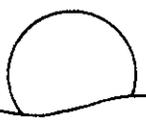
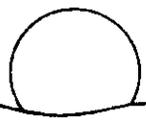
Le but est de retrouver les phases de la Lune, la durée d'une lunaison, les mouvements de la Lune et le déplacement des planètes.

Cela permet également de faire sortir les élèves de leur cocon et de leur faire lever le nez. Certains garderont le goût de l'observation. Si seulement 10% conservent cette envie, l'avenir des Cahiers Clairaut est assuré pour l'an 2000.

A/ OBSERVATION DE LA LUNE: phases, lunaison.

Le thème Astronomie peut être abordé en cours d'année par plusieurs séquences.

Les élèves notent leurs observations sur une fiche comme celle ci-dessous.

NOM	PRENOM					CLASSE
<u>OBSERVATION DE LA LUNE</u>						
	 date: 25/9 heure:	 date: 26/9 heure:	 date: 27/9 heure:	 date: 28/9 heure:	 date: 30/9 heure:	
						

Rem.: 1) Les observations doivent couvrir 2 mois pour tenir compte des jours où le ciel est couvert.

- 2) Choisir un code pour noter la partie éclairée de la Lune.
- 3) Imposer la date pour chaque case (plus facile pour corriger).
- 4) Pour éviter les confusions entre matin et soir, exiger l'heure sous la forme 20h30 (pour la correction).

Ces observations peuvent être notées en tenant compte de divers facteurs:

- nombre d'observations
- réalité de l'observation: les tricheurs peuvent être facilement repérés.  
ex.: \* il est impossible d'observer ☾ ou ☽ à 20h30.

\* de même un observateur sérieux notera ☾ (incliné) et une pleine Lune pendant plusieurs jours(3). Par contre le plaisantin qui copie le calendrier dessinera ☽ (vertical et non incliné) et ne notera la Pleine Lune qu'un seul jour.

Conclusion: on montre la périodicité du phénomène et on détermine la lunaison.

B/ MOUVEMENTS DE LA LUNE.

But: faire observer aux élèves le mouvement de la Lune d'Est en Ouest (dû à la rotation de la Terre) et le mouvement de la Lune d'Ouest en Est parmi les étoiles.

Fiche élève:

NOM

PRENOM

CLASSE

OBSERVATION DE LA LUNE

Toutes les observations se feront du même endroit, éloigné si possible de toute forte lumière parasite.

1/ Un même jour observer la Lune à des heures différentes (toutes les demi-heures ou toutes les heures) en repérant sa position par rapport à des repères terrestres. Faire un schéma au dos de la feuille.

a) exemple:



à 20h ce jour-là, la Lune était au-dessus de la maison.

b) observations:

Jour:

Première observation, heure:

Deuxième observation, heure:

Troisième observation, heure:

Quatrième observation, heure:

c) conclusion: la Lune se déplace-t-elle de l'Ouest vers l'Est ?  
ou de l'Est vers l'Ouest ?

2/ Au cours d'une semaine, observer la Lune pendant 3 ou 4 jours successifs ou non et à la même heure. Repérer sa position par rapport à des repères terrestres.

a) observations:

heure:

Première observation, jour:

deuxième observation, jour:

Troisième observation, jour:

Quatrième observation, jour:

(faire le schéma  
au dos de la  
feuille)

b) conclusion: la Lune se déplace-t-elle de l'Ouest vers l'Est ?  
ou de l'Est vers l'Ouest ?

Conclusion: au cours d'une journée la Lune se déplace d'Est en Ouest ( la rotation de la Terre domine).

au cours d'une lunaison, elle se déplace d'Ouest en Est.

C/ DEPLACEMENT DES PLANETES.

Objectif: faire découvrir que parmi les points brillants qu'il y a dans le ciel, certains se déplacent et d'autres gardent les mêmes positions relatives.

Fiche élève/: (cette fiche a été distribuée en octobre 1984).

NOM	PRENOM	CLASSE
<u>OBSERVATION DU CIEL</u>		
<p>Vers le Sud-Ouest, environ à 40° au dessus de l'horizon, on peut facilement observer un objet brillant A, une demi-heure après le coucher du Soleil. Quand le ciel s'obscurcit, d'autres objets brillants apparaissent autour de A. Schéma ci-dessous.</p>		
<p>En tenant une règle à bout de bras, on peut mesurer la distance séparant deux de ces objets. Faire les mesures demandées environ une fois par semaine.</p>		
Date		
Heure		
AE (cm)		
ED (cm)		
BE (cm)		
DC (cm)		
BC (cm)		
Quelles modifications avez-vous observées ?		

Remarques: \*A était Jupiter dans la constellation du Sagittaire et B était Mars "entre" Sagittaire et Scorpion ( C: Antarès).

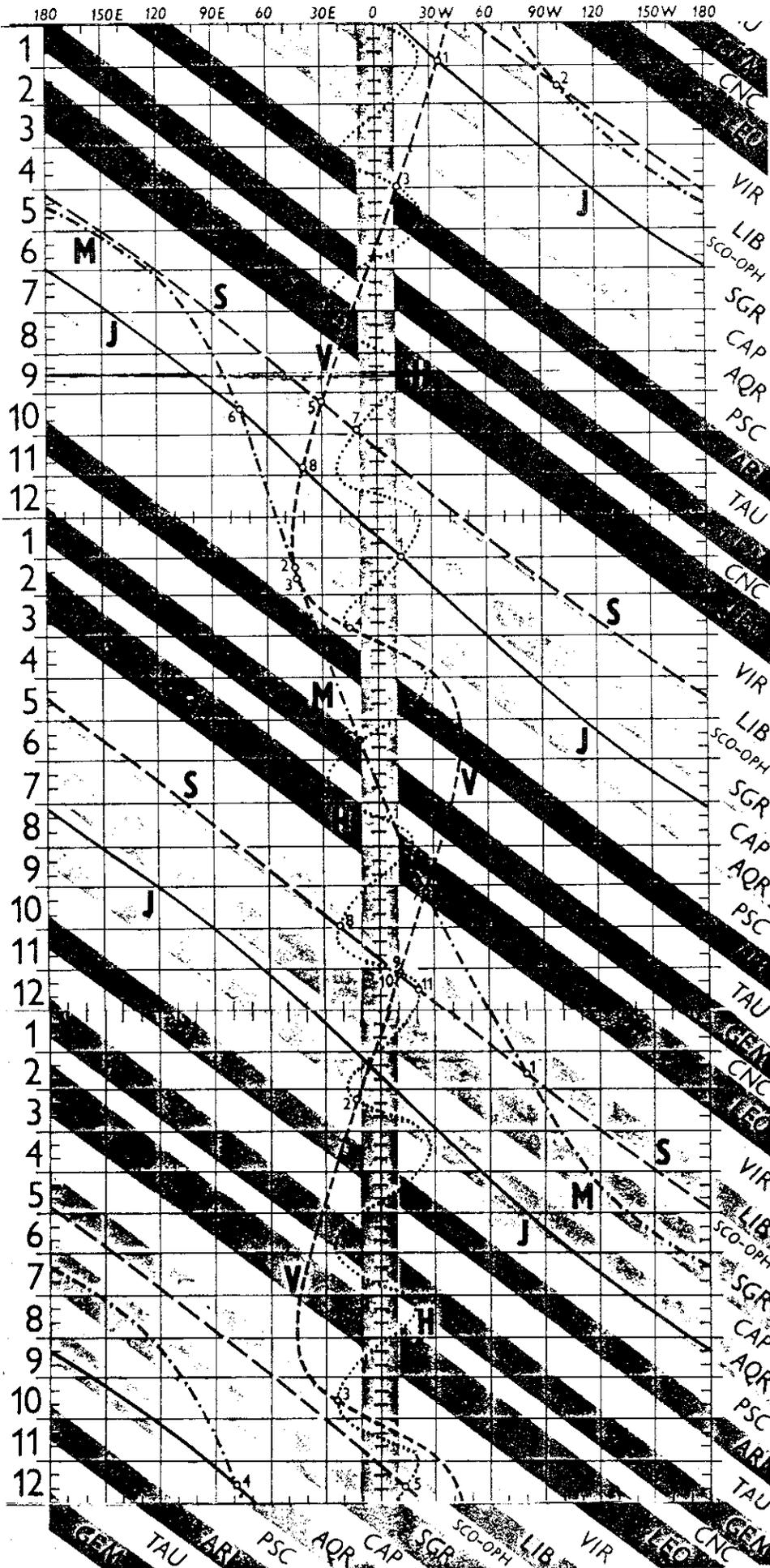
\* La fiche est distribuée aux élèves sans leur parler de constellations ou de planètes. Il suffit de parler d'objets plus ou moins brillants.

\*Il faut parfois donner pendant 2 ou 3 semaines des explications pour

Ciel le soir  
élongation est

SOLEIL

Ciel le matin  
élongation ouest



## 1984

a	b	c	d	e	f	g
1.	1.27.	2h	V	0,8	J	35W
2.	2.15.	13h	S	0,8	M	100W
3.	4.29.	24h	H	0,7	V	12W
4.	8.16.	16h	V	6,1	H	17E
5.	10.08.	17h	S	2,5	V	30E
6.	10.13.	23h	J	1,9	M	75E
7.	10.29.	20h	S	3,2	H	11E
8.	11.24.	21h	J	2,0	V	40E

## 1985

a	b	c	d	e	f	g
1.	1.31.	5h	J	1,3	H	13W
2.	2.08.	2h	V	2,7	M	45E
3.	2.15.	20h	V	3,8	M	43E
4.	3.23.	2h	V	5,3	H	16E
5.	6.15.	15h	H	0,8	M	10E
6.	9.04.	21h	M	0,01	H	16W
7.	10.04.	23h	V	0,1	M	26W
8.	10.30.	21h	S	4,4	H	21E
9.	12.04.	4h	H	1,6	V	11W
10.	12.05.	11h	S	1,1	V	11W
11.	12.16.	18h	H	0,5	S	21W

## 1986

a	b	c	d	e	f	g
1.	2.17.	24h	S	1,3	M	80W
2.	3.08.	13h	H	4,9	V	13E
3.	10.18.	14h	H	4,4	V	24E
4.	12.19.	7h	M	0,5	J	79E
5.	12.19.	15h	S	1,3	H	13W

bien situer la zone à observer. Afin de faciliter le repérage, il est intéressant de faire commencer l'observation quand la Lune est au voisinage. Le 1<sup>er</sup> octobre 84, à son premier quartier elle était au voisinage immédiat de Mars (B). Le 2 octobre, elle était à l'Est de Jupiter (A).

\* Cette observation est plus difficile que les deux précédentes. Cette année nous avons été victimes des intempéries.

Réalisation: pour préparer une telle observation (quelles sont les planètes visibles le soir ? dans quelles constellation ?), il suffit de se reporter aux cartes de "Astronomie, guide de l'amateur . Gründ". Les conjonctions peuvent être signalées aux élèves en cours d'année . Voir document joint.

Les cartes donnent les positions des planètes visibles à l'oeil nu en 84, 85, 86.

A gauche des cartes sont donnés les numéros des mois. A droite, les constellations occupant les bandes obliques. La verticale centrale donne la position du Soleil.

Exemple: Quelles étaient les planètes visibles le 15 novembre 1984 ?

- Tracer un trait horizontal au milieu de la case correspondant au 9<sup>ème</sup> mois de 1984. Il coupe successivement les traces de Jupiter, Mars, Saturne, Vénus, Soleil et Mercure (H).
- Les élongations sont à lire en haut des cartes. On a pour Jupiter 100° Est (100° à l'Est du Soleil), Mars: 85° Est, Saturne: 50° Est, Vénus: 25° Est et Mercure: 20° Ouest (20° à l'Ouest du Soleil).
- Saturne, à 50° Est, se couchera environ 3h20 (1h → 15°) après le Soleil. Elle sera donc visible le soir.
- Vénus, à 25° Est, se couchera donc 1h40 après le Soleil et se verra difficilement dans le crépuscule.
- Mercure, à 20° Ouest, sera difficilement visible le matin.
- Le 15 novembre 1984, Jupiter était dans le Sagittaire (bande oblique), Mars dans le Scorpion, Saturne dans la Balance (LIB) ainsi que Vénus et Mercure dans le Lion.

Les tableaux situés sous les millésimes donnent les conjonctions de l'année. La signification de chaque colonne est donnée ci-dessous:

- a- numéro de la conjonction que l'on retrouve sur la carte.
- b- mois et jour.
- c- heure en TU.
- d- planète passant au Nord.
- e- distance angulaire en degrés.
- f- planète passant au Sud.
- g- élongation en degrés.

Jean RIPERT.

## QUAND DEUX ETOILES JOUENT A CACHE-CACHE

Le Prix Scientifique Philips, organisé chaque année depuis 1970, récompense de jeunes scientifiques âgés de moins de 21 ans et ayant effectué un travail de recherche original (en sciences exactes ou sciences humaines). En 1984, trois études primées portaient sur l'astronomie, dont une sur ce qu'on appelle les "étoiles variables". En voici un résumé.

Les étoiles variables sont des étoiles dont l'éclat, pour une raison ou pour une autre, change au cours du temps. Ces variations peuvent être propres à l'étoile (on parle de variable intrinsèque), ou dues à un compagnon, stellaire lui aussi, tournant autour de l'étoile centrale, et qui, vu de la Terre, semble la cacher périodiquement (on parle de variable à éclipses).

L'observation de ce type d'étoiles est importante pour les astronomes, elle permet de mieux comprendre l'évolution stellaire. C'est également un des rares domaines de l'astronomie où des amateurs, regroupés en associations, peuvent faire oeuvre utile. En effet, quelques 30 000 étoiles variables sont connues à l'heure actuelle, et la liste s'allonge tous les jours, obligeant à un travail très important d'observation et de classification.

C'est ce travail de classification qui a été l'objet de l'étude mentionnée plus haut, pour une étoile dénommée "SAO 72 799" (c'est à dire 72 799<sup>e</sup> étoile répertoriée dans le catalogue du Smithsonian Astrophysical Observatory, qui en compte quelques 258 000...).

Cette étoile avait été reconnue comme variable sur des plaques photographiques prises fin 1980 par un astronome Allemand. Ce dernier avait déjà publié quelques résultats, sur lesquels nous reviendrons, mais des doutes subsistaient sur la classification exacte de l'étoile, ainsi que sur sa période. L'objet de l'étude était de refaire ce travail d'observation et de classification, pour le comparer à celui déjà effectué.

Elle s'est déroulée comme suit:

- Tout d'abord une carte détaillée fut établie. Connaissant la position exacte de l'étoile (donnée par le catalogue SAO), il fut possible de la localiser sur un atlas photographique. A partir de là des étoiles repères furent choisies (nous verrons leur rôle un peu plus loin), et l'étoile put être pointée au télescope sans ambiguïté.

- Durant un mois (du 29 Juillet au 31 Aout 84) l'étoile fut suivie régulièrement. Les observations consistaient à estimer l'éclat de l'étoile visuellement, par comparaison avec deux autres étoiles repères d'éclat fixe.

Ces étoiles repères doivent être choisies de telle sorte qu'elles "encadrent" la variable, c'est à dire que l'une soit un peu plus brillante et l'autre un peu plus faible que cette dernière. Il appartient à l'observateur de déterminer le plus précisément possible où se situe l'étoile étudiée par rapport aux deux repères.

Cette technique, quoique peu précise, est la plus facile à utiliser pour un amateur. Elle permet de tracer des courbes de lumière pour chaque nuit d'observation, du style de celle reproduite fig 1.

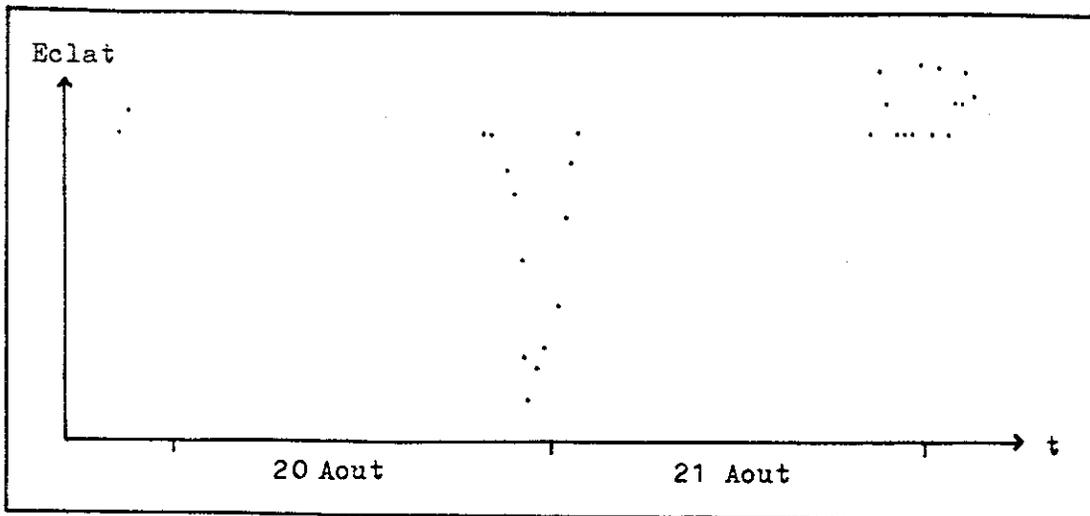


Fig 1: courbe de lumière obtenue à partir des observations des 20, 21, et 22 Aout 84. Chaque point représente la moyenne de plusieurs observations.

- Ces résultats observationnels montrèrent nettement un éclat à peu près constant, sauf certaines nuits où une brusque diminution de luminosité (suivie d'une augmentation) était visible. Ce fait constaté, et au regard de la classification actuelle des variables, il fut possible de penser classer cette étoile parmi les "éclipsantes", dont nous avons parlé au début.

Pour vérifier cette hypothèse (qui implique une parfaite périodicité des variations), il fallu trouver une période de variation. Cette période fut déterminée en se servant du seul instant facilement déterminable sur un cycle de variation: les minima d'éclats. Trois furent être déterminés; sachant qu'il ne peut y en avoir plus de deux par cycle (voir fig 3), une première recherche empirique (aidée d'observations antérieures effectuées par un autre astronome amateur) donna la période  $P=7,3419$  j comme probable.

Ayant déterminé cette période, des calculs statistiques précis permirent d'utiliser les observations de minima publiés par les professionnels, et de calculer exactement la période:

$$P = 7,351\ 673\ \text{j} \quad \text{soit} \quad 7\text{j}\ 08\text{h}\ 26\text{mn}\ 24\text{s} \text{ à } 6\text{s} \text{ près}$$

±74

- Cette période déterminée, il ne restait plus qu'à ramener toutes les mesures d'éclat sur une seule période (on parle de compositage). Le résultat est donné par la fig 2.

Ce compositage, et la courbe qu'il permet de tracer, confirmèrent la nature éclipsante de l'étoile étudiée (voir l'explication du phénomène fig 3).

Les résultats annoncés par les professionnels, un peu moins précis (car basés sur moins d'instant de minimum), étaient identiques, ce qui est une excellente confirmation de la validité des deux travaux d'observation et de classification.

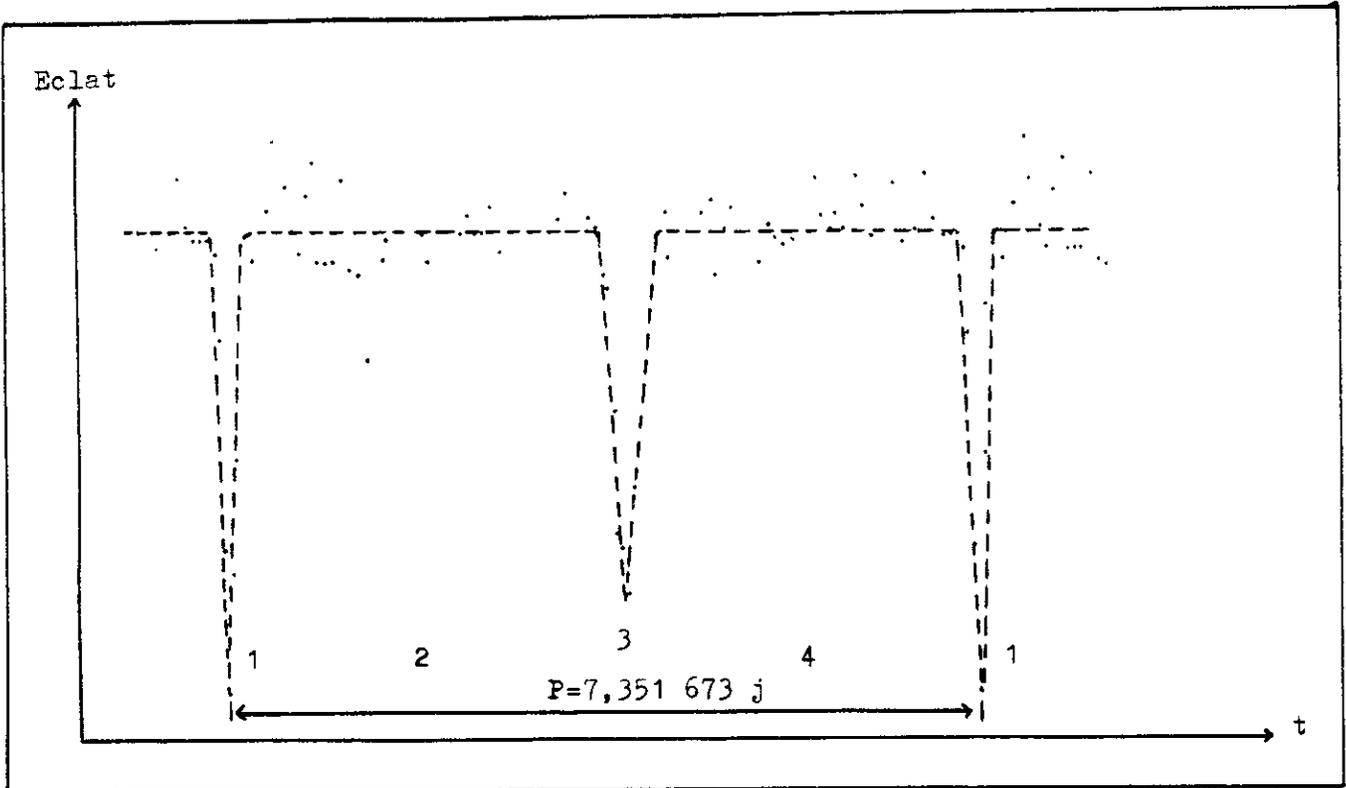
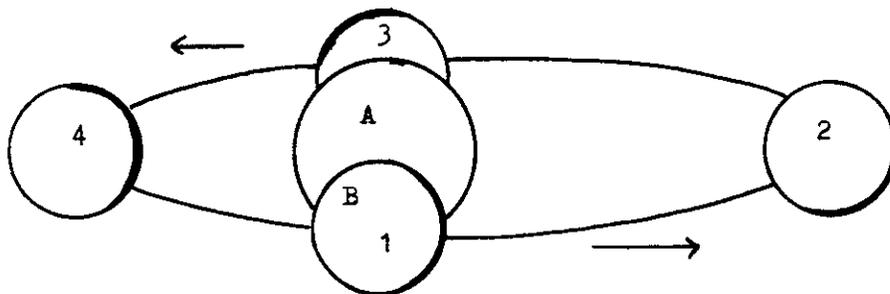


Fig 2: courbe de lumière obtenue en composant les 351 estimations visuelles d'éclat obtenues au total.

Une étoile variable à éclipses est en fait composée de deux étoiles tournant l'une autour de l'autre. Or il se trouve que pour un observateur terrestre, lors du mouvement orbital, elles semblent se cacher à tour de rôle, d'où des "éclipses" qui affaiblissent l'éclat global.



En 1 l'étoile secondaire B occulte l'étoile A. Il y a minimum principal.  
En 3 l'étoile secondaire B est occulté par l'étoile A. Il y a minimum secondaire.  
En 2 et 4 l'éclat apparent du système est maximum.  
(Voir, en pointillé, la courbe de lumière résultante ci-dessus)

Fig 3: explication du mécanisme de variation d'une étoile variable à éclipses comme SAO 72 799.

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

Les étoiles et les planètes

\*\*\*\*\* A la découverte du ciel ; collection "le jeune scientifique", ed USBORNE (1977), par Christopher Maynard.

Bien que le public visé ne soit pas explicitement précisé, ce livre, par sa présentation, semble s'adresser aux élèves des collèges. Il a 32 pages et un format voisin de celui d'une B.D.

Il ne comporte aucune photographie (ce qui est toujours regrettable en astronomie) mais des dessins et des schémas occupant environ 60% de chaque double page. Ils sont accompagnés de légendes expliquant l'illustration mais n'ayant qu'un lointain rapport avec le texte. Celui-ci, disposé en colonnes, n'occupe que 15% du livre ; images et légendes y sont mêlées si bien que l'ordre dans lequel chaque page doit être lue est loin d'être évident. Le vocabulaire est un peu difficile, mais les phrases sont simples.

Le livre est découpé en treize chapitre très courts (deux pages) abordant les sujets les plus classiques de l'Astronomie : dimensions dans l'Univers, moyens d'observation, inventaire du système solaire puis des objets célestes, repérage dans le ciel, évolution de l'Univers. Les connaissances apportées ne peuvent être que très superficielles compte tenu de l'ampleur du sujet et de la taille du volume. Une fois de plus, les explications concernant les trous noirs et l'origine de l'Univers laissent à désirer.

Les chapitres peuvent être lus dans un ordre quelconque ; chaque page offre même de multiples entrées, il n'est pas toujours facile de s'y retrouver.

Le livre propose quelques activités, mais le lecteur capable de comprendre les textes n'en appréciera peut-être pas la présentation très enfantine. La construction d'une carte mobile du ciel attire toujours les enfants ; je crains que les explications données soient insuffisantes pour qu'ils puissent vraiment la réaliser. Un glossaire très succinct et un index peuvent être consultés en fin d'ouvrage.

Les enfants de onze à quatorze ans seront sans doute attirés par ce livre riche en images et traitant d'un sujet qui les passionne toujours, mais les connaissances y sont apportées de façon dogmatique et confuse. Que leur restera-t-il après sa lecture ? L'envie d'en savoir davantage ?

Béatrice Sandré

Les puissances de dix

\*\*\*\*\* Puissances de dix ? Ne s'agissait-il pas d'un film ?

Si ! Retrouve-t-on les mêmes Images ? Oui, avec un texte apparemment plus dense que le commentaire du film.

Tout y est. C'est à se demander ce qui pourrait ne pas y être puisqu'en plus des 42 étapes du voyage de  $10^{25}$  à  $10^{-6}$  mètres, "parcours du macrocosme au microcosme", les pages annexes regorgent de considérations astrophysiques, historiques, philosophiques et il est bien difficile d'en tirer la substantifique moelle. A force de vouloir simplifier, la rédaction se fait parfois lourde et floue, en particulier pour l'analyse des spectres. On apprend que la troisième loi de Kepler dont la relation mathématique n'est pas écrite, est "étonnante de simplicité". D'ailleurs la courbe  $T = f(R)$  est une droite, ce qui troublera le lecteur s'il ne prend pas garde à l'échelle. Cinq pages plus loin, on apprend que "tout atome "malade" qui guérit retrouve une parfaite santé". Plus loin, que les étoiles rouges sont naines alors que les bleues sont géantes.

Ne boudons pas notre plaisir puisque les photos sont belles. mais, au fait, lesquelles sont de véritables photographies, lesquelles sont des reconstitutions ? Vous ne le saurez qu'à la fin du livre consacrée aux images du film et à sa réalisation : cette partie du livre est fort intéressante, dommage qu'elle n'ait pas été plus développée.

Maryse Jonas

Pour l'histoire de l'astronomie

\*\*\*\*\* Voici, chère Marquise, trois ouvrages que je dépose avec confiance sur votre bureau. Votre goût pour les choses de la science et de son histoire trouvera à s'y satisfaire, chacun dans leur genre. Le premier, parce que vous avez toujours beaucoup aimé les philosophes, le troisième parce que vous êtes certainement curieuse de ce qu'est devenu l'Observatoire de Paris après la dynastie des Cassini. Le deuxième dessinera peut-être un sourire ironique sur vos jolie lèvres mais n'oubliez pas, savante dame, que rares étaient vos contemporains à connaître aussi bien que vous l'oeuvre du grand Newton. Lisez vite ces trois livres, que je les fasse lire à nos amis... Voici leurs titres :

- 1. KANT : Histoire générale de la nature et théorie du ciel (1755), traduction de Anne-Marie Roviello, introduction par Jean Seidenbart, postface par Pierre Kerssberg ; 316 p ; éd Vrin ; 75 F.

- 2. Jean-Marie HOMET : Astronomie et astronomes en Provence (1680-1730), un volume de 300 p, illustré et relié ; éd EDISUD.

- 3. Observatoire de Paris, son histoire (1667-1963) par S. DEBARBAT, S. GRILLOT et J. LEVY ; une brochure de 68 p illustrées (25 F à l'observatoire, 35F par correspondance).

- 1. Qu'il ait fallu attendre 230 ans pour lire une traduction française de ce livre de Kant surprend mais cela s'explique. L'hypothèse de la formation du système solaire à partir d'une nébuleuse primitive présentée par le alors jeune philosophe de Königsberg fut ensuite reprise sous une forme mécaniquement plus acceptable par Laplace et beaucoup plus tard par Poincaré. En France on a donc préféré, le plus souvent se référer à la construction plus complète de Laplace (dont Le système du monde vient fort opportunément d'être réédité, je le déposerai sur votre Bureau, Marquise, une autre fois).

L'intérêt exceptionnel de cette traduction française est d'abord dans le texte du philosophe ainsi accessible à qui n'est pas germaniste. Il est aussi dans les deux textes qui l'accompagnent. L'introduction est intitulée "Genèse et structure de la cosmologie kantienne précritique" ; elle situe l'oeuvre dans son temps ainsi que dans l'oeuvre du philosophe pour qui elle est une production de jeunesse (mais qu'il ne renia jamais). La postface, intitulée "La création en mouvement" s'interroge sur le sens philosophique de ce qu'était pour Kant cette hypothèse cosmologique ; par conséquent de la signification philosophique que toute cosmologie porte en elle.

Notes, références, index des noms cités, rien ne manque pour faire de ce livre un excellent outil de travail. Regrettons seulement en passant bon nombre de coquilles typographiques (écart pour éclat p33, tenir pour ternir p 41 entre autres).

On peut juger Kant trop audacieux, eu égard aux connaissances de son temps et aux siennes propres, de s'être lancé dans une telle théorie (par exemple, il méconnaît la conservation du moment cinétique, il ne voit donc pas d'inconvénient à ce que la nébuleuse primitive immobile se mette à tourner). Mais l'intérêt du texte de Kant est ailleurs. Rappelons-nous qu'à l'époque, en Allemagne, au contraire de ce qui se faisait en France, on veut réconcilier conceptions religieuses et conceptions scientifiques. En 1755, Kant pense que le physique s'origine dans ce qui n'est pas lui et le fonde, il croit encore à l'efficacité des preuves physico-théologiques de l'existence de Dieu, en fidèle leibnizien. Sa théorie du ciel est, dans l'ensemble de son oeuvre, à place en oeuvre précritique. Etape dans sa pensée. Etape également dans l'histoire de la cosmologie, une histoire d'un intérêt actuel accru par l'ampleur et la profondeur des cosmologies modernes. Ce n'est pas vous, Marquise, qui direz le contraire.

- 2. Cette histoire des Astronomes provençaux de 1680 à 1730, j'ai supposé que vous l'accueilleriez avec un sourire ironique. Vous vous demanderez s'il est tellement important de faire revivre aussi bien, avec tant de

précisions biographiques ces cartésiens un peu attardés qui ignoraient à peu près tout, je crois même qu'il faut dire tout, de la révolution newtonnienne qui était justement en train de bouleverser l'astronomie (bouleverser en l'organisant). Le mérite de J-M.Homet qui a réalisé cet ouvrage avec un soin si remarquable devrait pourtant échapper à personne. L'astronomie est oeuvre collective. Elle progresse à pas de géant grâce à des concepteurs comme Newton mais qu'aurait pu concevoir celui-ci sans l'accumulation de données due au travail obstiné des observateurs ? Dès cette époque, la France déjà se centralise et Paris groupe autour de l'Académie des sciences et de l'Observatoire les plus grands astronomes. Mais les statistiques établies par Homet le montrent bien, il y a en France deux centres astronomiques, Paris et la Provence, ce dernier sans doute favorisé par son climat. Mais Cassini, depuis l'Observatoire de Paris, avait tort de considérer ses collègues provençaux comme de simples aides à qui confier des tâches en sous-traitance. Pour l'ogre de la recherche scientifique, tout fait ventre.

Admirons donc le travail de J-M.Homet. cartes statistiques, illustrations tout est judicieusement choisi ou établi à partir des meilleures sources, en particulier la Bibliothèque Méjanès d'Aix en Provence. L'ami Jean Ripert m'a prêté ce beau livre, je ne le lui rendrai pas sans regret.

- 3. Si les visiteurs de l'Observatoire de Paris sont surtout curieux des récentes découvertes en astronomie, comment ne seraient-ils pas conduits à s'interroger sur l'histoire de ce beau monument ? Pour satisfaire cette légitime curiosité supplémentaire, les Auteurs de cette brochure qui sont astronomes à l'Observatoire étaient les mieux placés pour réunir une documentation solide et l'illustrer de photos ou de gravures toutes remarquables.

Je ne veux pas résumer mais seulement citer quelques passages qui vous donneront envie d'en connaître plus. Avant la Révolution, la dynastie des Cassini a dominé l'observatoire surtout orienté vers l'astrométrie. La Révolution crée le Bureau des Longitudes dont l'activité restera toujours très liée à celle de l'Observatoire. On voit se succéder des noms justement célèbres, Lalande, Méchain, Delambre, Bouvard dont les calculs pour sa nouvelle table des planètes Jupiter et Saturne puis Uranus l'amènèrent à émettre l'hypothèse de l'existence perturbatrice d'une planète tansurannienne qui ne fut d'abord prise au sérieux par personne. Autre astronome célèbre de cette galerie, Arago dont l'Astronomie populaire reste un modèle du genre. Des anecdotes instructives comme ce caractère anxieux de Méchain dû à cet écart de 3" dans ses mesures de latitude qu'il croyait provoqué par une erreur de calcul alors qu'il était seulement le résultat du cumul de petits effets ; un bel exemple de conscience professionnelle. C'est aussi de cette époque que date la réalisation du premier daguerréotype du Soleil (7 décembre 1845) par Fizeau et Foucault que la brochure reproduit en vraie grandeur, un document à conserver. La période moderne voit le développement de l'Observatoire non sans des épisodes plus ou moins difficiles comme celui du règne de l'autoritaire Le Verrier dont la statue orne la cour d'entrée. Plus tard, il y aura les directions de Deslandres, d'Esclangon qui réalise l'horloge parlante tél 1 699 84 00) et celle de André Danjon.

N'oublions surtout pas le rôle de l'Observatoire dans de grandes entreprises internationales, en particulier la carte photographique du ciel et la création du Bureau International de l'Heure.

Pour dire brièvement l'intérêt de cette brochure, je soulignerai la qualité du texte et la valeur des illustrations par exemple cette double page avec, à gauche la grande carte de la Lune de J-D Cassini gravée en 1692 et à droite la photographie de la Lune par Lowy et Puiseux qui date de 1900.

K. Mizar

VOUS ETES-VOUS REABONNE AUX CAHIERS CLAIRAUT ?

Glanes

\*\*\*\*\* recueillies dans diverses lectures...

- Compte rendu du colloque des planétariums européens (7-8 mai 1984), un volume de 160 pages qui réunit toute la documentation souhaitable sur le sujet. Je rapproche la brochure 9 de la collection "Planétarium" éditée par l'Observatoire de Strasbourg et qui a pour titre "L'homme et le Cosmos" (première partie) par W. Bodenmuller : de la préhistoire de l'astronautique aux premiers pas de l'homme sur la Lune. Une brochure de 44 pages.
- Le dossier du n°30 de Espace Information est consacré à "la vie dans les planètes telluriques". Dans ce même numéro une riche information astronomique et un anaglyphe de Fribourg (grâce à une lunette bicolore, perception du relief, un document réalisé par le satellite et le programme SPOT). Les compléments documentaires publiés par Espace Information sont également à signaler (et je ne dis pas cela parce que les Cahiers Clairaut y sont cités mais pour signaler à tous cette mine d'information).
- Nous sommes bien en retard pour signaler le BT 952 du 10 mai 1984. Ce numéro de la "Bibliothèque de travail" contient le récit "Des collégiens construisent leur observatoire-planétarium" par nos amis du club d'astronomie des Pléiades du collège Valéri de Nice. Une bulle un peu plus grosse qu'une demi sphère de 6m de diamètre pour l'observatoire, une sphère de 4 m de diamètre pour le planétarium. Un beau travail de PAE !
- Dans la belle biographie de Cauchy par Bruno Belhoste (un volume de la collection "un savant, une époque", 224 p ; éd Belin), j'apprends que le premier mémoire de Le Verrier sur la planète Pallas fut examiné avec faveur par Cauchy. Est-ce pour cette raison qu'en 1849 Le Verrier changea de sa chaire d'astronomie mathématique à celle d'astronomie physique pour faire une place à Cauchy ; curieux rapprochement entre deux savants justement célèbres par leurs oeuvres scientifiques mais aussi par leurs comportements...

Dans les revues

- \*\*\*\*\* L'Astronomie : dans les numéros de Décembre 84, janvier et février 85, "La comète de Halley à son retour de 1910" par R. Boyer, E. Neyvoz et E. Stram ; mars 85, "Le pulsar binaire, un nouveau laboratoire où étudier la gravitation" par N. Deruelle ; avril 85, "La lumière raconte" par Monique Gros et de beaux documents sur le Soleil obtenus au Pic du Midi.
- Ciel et Espace n°204, mars-avril 85 : "Véga, une sonde, deux objectifs" par V. Koutounienki et un dossier "La comète de Halley en 1985-86 par M. Festou.
- Pour la Science, mars 85 : "La formation des étoiles" par A. Boss ; avril 85: Les émetteurs de rayons gamma par B. Schaefer.
- La Recherche, février 85 : "Une nouvelle fenêtre sur l'Univers, les photons ultra-énergétiques" par K. J. Orford ; mars 85 : "La chimie interstellaire" par J. Lequeux ; "Des poussières microscopiques dans le ciel infrarouge," par A. Leene et P. Wesselius ; avril 85 : "Les naines blanches" par G. Fontaine et F. Wesemael "Les galaxies cannibales" par M. Lachièze-Rey.

Errata

- \*\*\*\*\* Pour réparer deux omissions, j'ai tapé trop vite la page précédente :
- Référence de l'ouvrage analysé plus haut par Maryse Jonas : Puissance de dix, les ordres de grandeur dans l'Univers par Philip Morrison, Phyllis Morrison et l'agence Charles and Ray Eames ; collection "L'univers des sciences" ; éd Belin.
  - Dans le n°204 de Ciel et Espace, "Quand la Lune était rouge sang..." par Jean-Paul Parisot sur la datation, par l'astronomie, de la crucifixion de Jésus.

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE : autour de Neptune

Dans le Cahier 28, la place nous était limitée, en dernière minute, pour rendre compte de l'entretien que nous avons eu avec André Brahic au sujet de la "découverte probable d'un arc d'anneau autour de Neptune". Le sujet mérite que nous y revenions.

En sept ans, de 1977 à 1984, la question des anneaux dans le système solaire a vu ses données bouleversées. Depuis leur découverte par Galilée et l'interprétation complète donnée par Huygens en 1655, les anneaux de Saturne (l'anneau étant devenu les anneaux depuis 1675 et la découverte de la division de Cassini) occupaient une position unique, donc étrange, dans le système solaire. Emmanuel Kant, dans sa Théorie du Ciel, croyait même pouvoir justifier cette étrangeté. Laquelle a disparu avec la découverte en 1977 des anneaux d'Uranus et, en 1979, celle des anneaux de Jupiter grâce aux photos des sondes Voyager. Il paraissait alors très possible qu'un système d'anneaux existât également autour de Neptune, dernière des grosses planètes à n'en pas avoir révélé.

Pour comprendre quelles difficultés devaient avoir à surmonter les observateurs de Neptune, rappelons quelques données sur les anneaux connus.

Les anneaux de Saturne s'étendent sur une largeur de 64 000 km à des distances du centre de la planète comprises entre 73 000 et 137 000 km et même bien au delà avec l'anneau E. Objet mince et presque transparent qui disparaît aux yeux des observateurs lorsque la Terre traverse le plan équatorial de Saturne. Les observations modernes, en accord avec les théories qui justifient la stabilité de la structure annulaire, prouvent que l'épaisseur est comprise entre dix et vingt mètres, les particules solides constitutives étant de toutes tailles, du micron au kilomètre, les gros morceaux étant rares, les morceaux étant d'autant plus nombreux qu'ils sont plus petits (quelques gros morceaux exceptionnels dépassant sur la minceur de l'ensemble). Insistons sur cette minceur extrême par une comparaison : disons cent fois plus mince, toutes proportions gardées, qu'une feuille de papier à cigarette. Pas étonnant que des anneaux moins étendus autour d'Uranus aient échappé si longtemps aux observateurs terrestres. Quant aux anneaux de Jupiter, peut-être un peu plus épais mais particulièrement diffus et entourés d'un halo en forme de tore, pour les découvrir il a fallu que la sonde Voyager 1 les photographie "de près"...

La découverte des anneaux d'Uranus a résulté de l'observation d'une occultation d'étoile par la planète. L'occultation d'une étoile brillante par le très petit disque de la planète est un événement rare, de l'ordre d'une occultation tous les trente ans. C'est un événement difficile à prévoir très longtemps à l'avance et qui requiert une grande précision car on veut savoir exactement où s'installer pour l'observer. On diminue la rareté du phénomène en observant l'occultation d'étoiles moins brillantes mais alors le contraste est trop grand entre l'éclat de l'étoile et celui du disque planétaire ; pour remédier à cet inconvénient, on diminue l'éclat de la planète en jouant sur le fait que l'atmosphère des grosses planètes est riche en méthane : on interpose un filtre non transparent aux bandes du méthane ; de cette façon, l'éclat de la planète est atténué, pas celui de l'étoile.

Un peu avant et un peu après l'occultation véritable de l'étoile, déceler la présence d'anneaux est alors l'affaire d'une mesure photométrique très précise. Il ne faut pas que l'enregistrement du photomètre soit perturbé par des sautes de tension dans son alimentation ; or de telles variations aléatoires sont toujours possibles ; on y échappe en doublant les postes d'observation, à partir du même lieu mais avec des appareillages complètement indépendants. D'autre part, l'étoile peut être considérée comme à l'infini par rapport à la planète ; en observant l'occultation à partir de deux lieux terrestres situés à un ou cent kilomètres l'un de l'autre, on obtient des balayages à des distances presque identiques sur la planète et son

environnement. Enfin, lors du dépouillement des enregistrements, il ne faut pas se contenter de sondages discrets, par exemple toutes les vingt secondes ; on risque de laisser échapper un événement important mais fugace il faut donc obtenir une mesure en continu.

En 1977 les observations d'Uranus ont été réussies par diverses équipes, des Chinois, des Japonais, des Indiens et même une équipe américaine opérant depuis un avion survolant l'Océan Indien, alors que l'équipe française, en Afrique du Sud, avait connu la malchance du mauvais temps. Depuis l'observation a été répétée des dizaines de fois avec succès, en particulier au Chili le 15 août 1980 au télescope de 3,60 m et encore une fois le 22 avril 1982 au Chili et à l'Observatoire du Pic du Midi. En réunissant toutes ces observations, on a pu se faire une assez bonne idée de la structure complexe des neuf anneaux d'Uranus dont six sont elliptiques et révèlent un mouvement de précession, les trois autres étant circulaires.

Pour Neptune, les observations ont débuté le 10 mai 1981 par plusieurs équipes qui n'ont rien décelé ; seule celle de Tucson (Arizona) a soupçonné quelque chose. En juin 83, neuf équipes ont observé depuis la Tasmanie et le Pacifique, sans résultat. Si bien que beaucoup renoncèrent. Seules persévérèrent le 22 juillet 1984 l'équipe de Tucson (Elicer, Hubbard, Vilas) et l'équipe européenne (Bouchet, Brahic, Häfner, Manfroid, Roques, Sicardy). L'occultation n'était pas certaine, elle ne fut d'ailleurs pas "symétrique" : une interruption du signal durant environ 0,8 seconde ne fut observée par les deux équipes qu'avant le passage de la planète devant l'étoile.

Encore un moment de "suspense" au cours du dépouillement des enregistrements : extinction bien enregistrée par l'équipe européenne mais pas par l'équipe de Tucson. A première vue tout au moins car en reprenant l'enregistrement de façon continue, l'extinction apparaissait bien réelle.

La conclusion pouvait donc être formulée comme elle le fut, en accord des deux équipes : "détection probable d'un arc d'anneau situé à trois rayons neptuniens de la planète et qui aurait environ 10 km de large."

Résultat qui pose à son tour de nombreuses questions :

- problème théorique de la position de cet anneau à cette distance de la planète (cf CC 28) ; serait-il instable ? Conséquence pratique qui en résulte pour la visite de la sonde Voyager 2 en 1989 ;
- si la structure d'anneaux autour des grosses planètes est commune, elle se présente sous des formes d'une grande diversité ; depuis les milliers d'anneaux autour de Saturne qui ne ressemblent ni aux anneaux d'Uranus, ni aux anneaux de Jupiter ni encore moins à ce qui vient d'être trouvé autour de Neptune. Comment expliquer cette diversité ?
- l'anneau ou les anneaux de Neptune ne seraient-ils pas fragmentés ou de largeur non uniforme ? Le mouvement rétrograde du premier satellite Triton aurait-il une influence sur les anneaux comme certains satellites de Saturne sur l'anneau "torsadé" F ?

Les délicates et belles observations de 1984 ouvrent donc un nouveau champ de recherches. Elles marquent aussi -il nous paraît important de le souligner - la valeur du travail d'équipe où le rôle de chacun est irremplaçable, de celui qui conçoit l'observation à celui qui l'organise, à celui qui observe effectivement, à celui qui dépouille les enregistrements à celui enfin qui les interprète. Quant aux résultats eux-mêmes, comme il arrive dans toute découverte, elle fournit de nouveaux thèmes de recherche aussi bien pour l'observation spatiale en 1989 que pour la réflexion théorique sur les objets annulaires dont on sait l'importance dans les cosmologies modernes.

G.W.

Des plans pour la comète ...

Cet article présente quelques schémas et graphiques qui permettront de visualiser, dans l'espace et le temps, le prochain passage de la Comète de Halley.

1. L'orbite actuelle de la comète.

Les paramètres orbitaux figurent dans le tableau: L'ellipse est très allongée, et, à l'aphélie, la comète dépasse l'orbite de Neptune. Le mouvement est direct, mais l'inclinaison sur l'écliptique dépasse 90°; on peut dire alors que ce mouvement est rétrograde avec une inclinaison de -180+i soit -17°8.

e=	0,9673
a=	17,9425 UA
i=	162°,24
Ω=	58°,142
ω=	111°,839

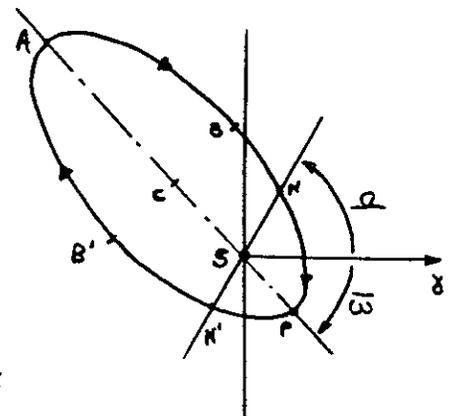
Au périhélie, la distance au Soleil est q=a(1-e)=0,59 UA. La comète passe alors au voisinage de la Terre et peut être observée. Comme sa période est très grande (76 ans environ), on ne la voit guère qu'une fois dans sa vie...

L'angle ω est celui du grand axe de l'ellipse avec la ligne des noeuds NN'. La longitude Ω du noeud ascendant N est mesurée par rapport à la direction γ du point vernal (coordonnées écliptiques héliocentriques).

La longitude ω̄ du périhélie P est alors: ω̄ = ω - Ω (à 360° près) = -53°7' = 306°33'.

Compte-tenu de l'inclinaison, le point P est au-dessus du plan de l'écliptique.

Le mouvement est loin d'être uniforme, car la moitié B'P est parcourue en 15 ans, et l'autre moitié B'AB en 61 ans (conformément aux lois de Kepler). Par rapport au Soleil, les vitesses sont Vp=54,8 km/s et Va=0,91 km/s.



La comète subit les perturbations des planètes, et, par le passé, son orbite avait certainement d'autres caractéristiques. Depuis le dernier passage le 20 avril 1910, ces perturbations sont restées faibles. On y reviendra plus loin.

Sur la fig.1, l'orbite de Pluton est projetée sur l'écliptique.

2. Le dernier passage (20 avril 1910).

Le schéma n°2 présente, en projection sur l'écliptique, le voisinage du Soleil, et les orbites des planètes "basses". Les dates correspondent aux positions des astres.

Les conditions d'observation de la comète étaient favorables, et surtout la comète est passée très près de la Terre: le 20 mai, elle n'était qu'à 23 millions de km ! et sa queue, opposée au Soleil, a "effleuré" notre planète; laquelle ne s'en est guère portée plus mal, malgré les prévisions catastrophiques des quotidiens de l'époque...

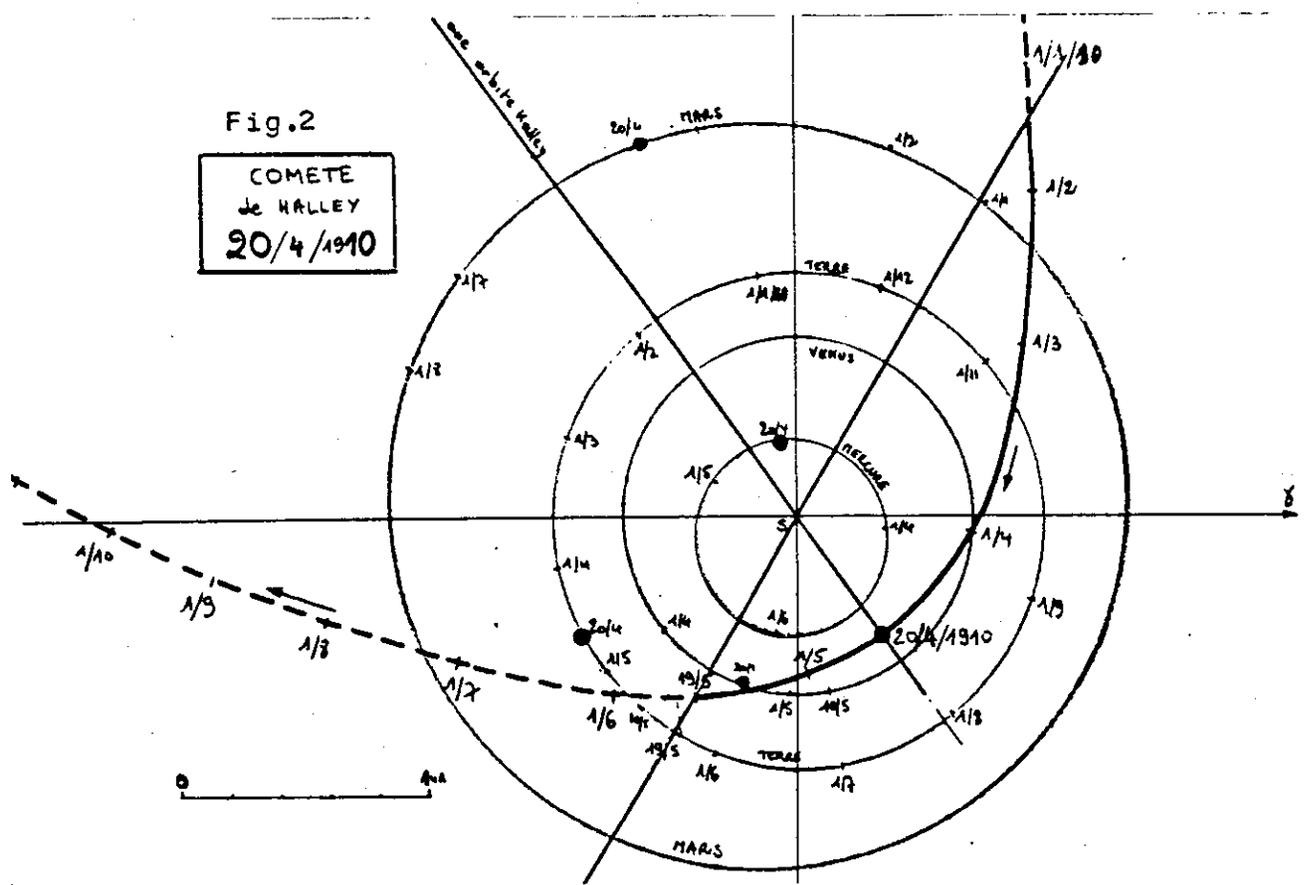
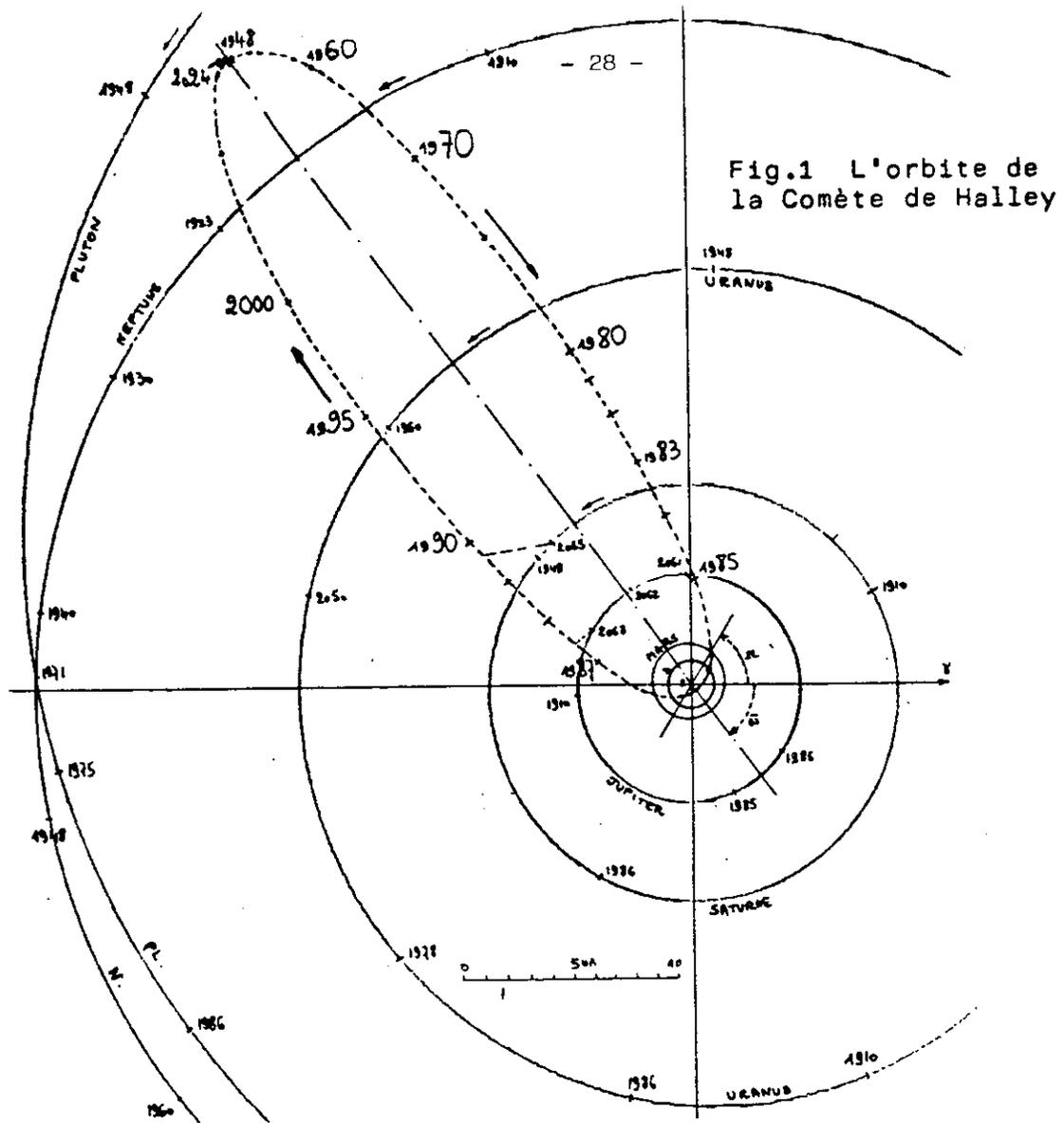
A noter que fin avril, début mai 1910, on pouvait observer Vénus dans le voisinage de la "Grande Comète", sur fond de ciel du Verseau.

Toutes nos connaissances sur la physique de la comète datent de ce dernier passage.

3. Le passage de 1985/86.

La comète a été "retrouvée" en octobre 1982, à 11 UA du Soleil: un objet de magnitude 24 se déplaçait sur l'orbite prévue...

Le plan n°3 montre que la distance Terre-Comète diminue jusqu'au 27 nov. 85 (minimum 0,62 UA). La comète s'éloigne ensuite pour passer de l'autre côté du Soleil (et au-dessus du plan écliptique). En avril 86 la distance minimale sera 0,42 UA: on peut prévoir une meilleure visibilité au printemps 86.





Mais du fait de l'inclinaison de l'orbite, seul l'hémisphère Nord de la Terre bénéficiera de bonnes conditions d'observation: la comète ne daignera même pas se lever sur l'horizon métropolitain. Par contre, en novembre 85, elle y sera très visible (mais d'un éclat plus faible).

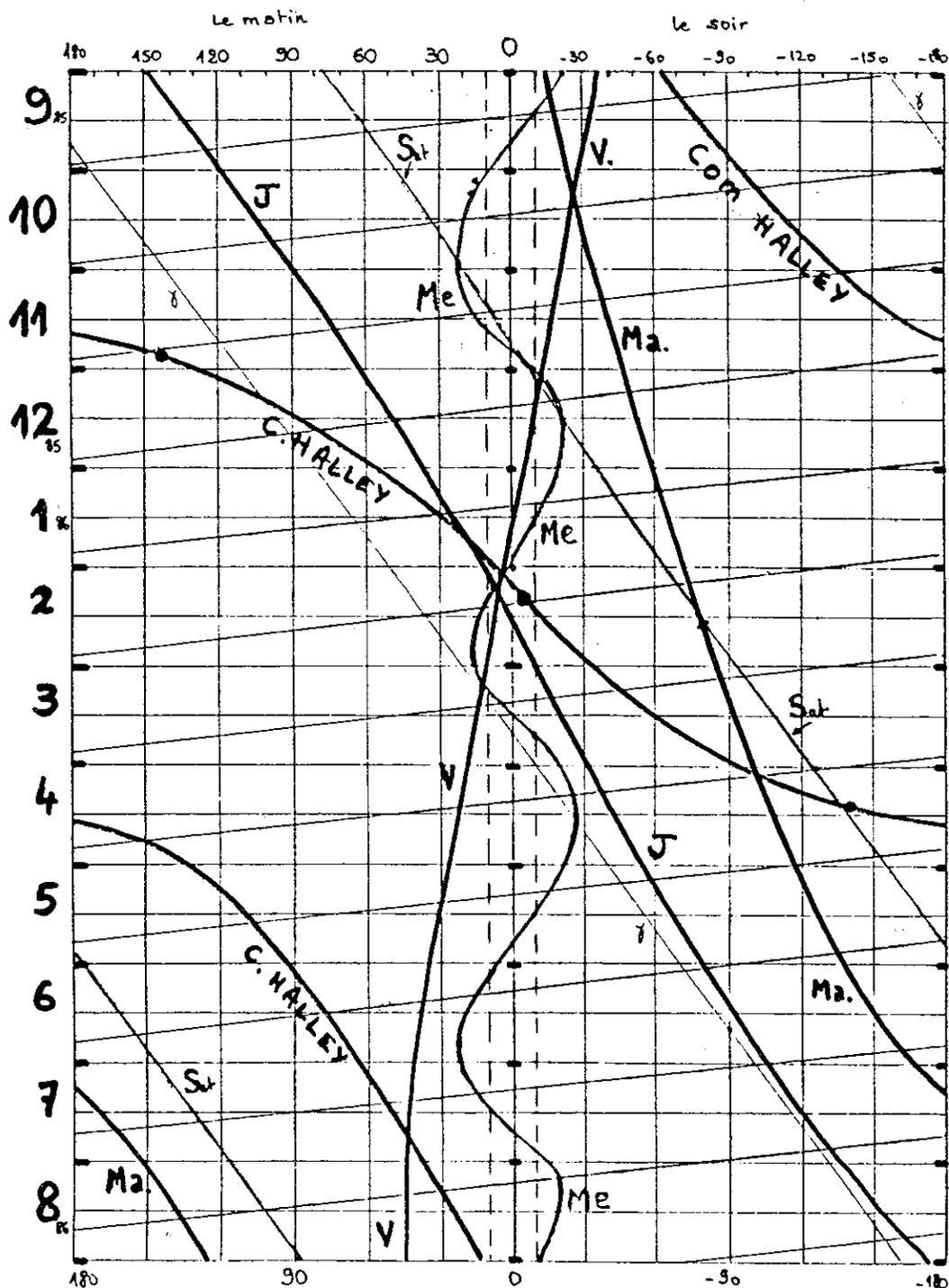
Quelques dates à signaler:

- 9/11/85 la comète coupe l'écliptique,
- 18/11 opposition écliptique au Soleil,
- 27/11 premier minimum de distance à la Terre (0,62 UA),
- 5/ 2/86 conjonction écliptique avec le Soleil,
- 9/ 2 passage au périhélie (54,8 km/s),
- 10/ 3 elle recoupe l'écliptique,
- 10/ 4 second minimum de distance à la Terre (0,42 UA),
- 15/ 4 opposition écliptique au Soleil.

Le passage au périhélie sera donc inobservable, car il se produira dans la direction visuelle du Soleil.

#### 4. Elongations écliptiques.

Le diagramme n°4 ci-dessous donne les écarts angulaires entre les



longitudes écliptiques géocentriques du Soleil, des planètes, de la Lune, et de la comète, pour les 12 mois suivant le 1er septembre 1985.

La Lune correspond aux traits obliques "mensuels", la Pleine-Lune se produisant avec une élongation de  $\approx 180^\circ$ . Le Soleil est la ligne centrale de référence.

Par exemple, on lit pour le 1er décembre 85:  $S=128^\circ$  pour la comète,  $65^\circ$  pour Jupiter,  $-10^\circ$  pour Mercure et Saturne (conjonction écliptique),  $-15^\circ$  pour Vénus,  $-45^\circ$  pour Mars et  $-125^\circ$  pour la Lune.

Il ne se produira pas de rapprochement visuel spectaculaire avec la comète, comme Vénus en mai 1910. Ceci est dû à l'inclinaison assez forte de l'orbite cométaire. Le meilleur rapprochement aura lieu le 22 janvier 86: Jupiter ne sera qu'à  $8^\circ$  de la comète, mais seulement à  $19^\circ$  du Soleil.

Les dates de Pleine-Lune sont à considérer, car elle gêne l'observation des astres de faible éclat: ce sera hélas le cas de la comète.

### 5. L'approche.

La fig 5 est une carte d'une portion du ciel, en coordonnées équatoriales: la région d'Orion, du Petit Chien, du Taureau. La comète suit cette trajectoire apparente dans le ciel.

Les boucles correspondent au mouvement annuel de la Terre autour du Soleil: un effet de parallaxe fait décrire à la comète de petites ellipses. Mais comme elle se rapproche de la Terre, ces ellipses ne sont pas fermées, et elles sont de plus en plus "grandes".

Les distances à la Terre étaient, aux 1ers janvier: 1981 (13,6 UA), 82 (11,7), 83 (9,6), 84 (7,25), 1985 (4,34 UA, magnitude 17).

La ligne des noeuds est franchie le 9 nov. 85.

### 6. La fuite.

Après avril 86, la comète s'éloignera du Soleil pour un nouveau tour de 76 ans. Dans le ciel, les boucles se reformeront, de plus en plus petites d'année en année.

La position de l'aphélie sera atteinte au début de janvier 2024. La comète, à 35,3 UA du Soleil, sera dans la direction de coordonnées équatoriales  $\alpha=8^h21^m$  et  $\delta=2^\circ10'$  pas très loin de l'étoile Procyon, dans la Tête de l'Hydre.

### 7. Le plan de vol.

Les schémas (fig.7) sont des cartes du ciel en coordonnées équatoriales (7a) et écliptiques (7b). Pour plus de clarté, les échelles des déclinaisons et des latitudes sont dilatées de 50%.

On peut suivre de jour en jour le déplacement de la comète dans le ciel. Son mouvement apparent quotidien est très irrégulier: il atteint  $3^\circ$  par jour vers le 27/11/85 et  $6,6^\circ$  par jour vers le 10/4/86, soit la moitié de celui de la Lune.

Il est intéressant de suivre le plan (fig.3) et ces diagrammes pour visualiser les mouvements dans l'espace. La comète fera pratiquement le tour complet du "ciel".

La fig. 7c est analogue à la fig. 7a mais avec les constellations en plus. Le fond de carte est extrait des "Ephémérides" du Bureau des Longitudes.

Après ces informations sur l'orbite et la trajectoire, venons-en aux observations pratiques. On se rendra dans deux régions de la Terre: à Paris pour l'hémisphère Nord, et dans l'île de la Réunion pour l'hémisphère Sud.

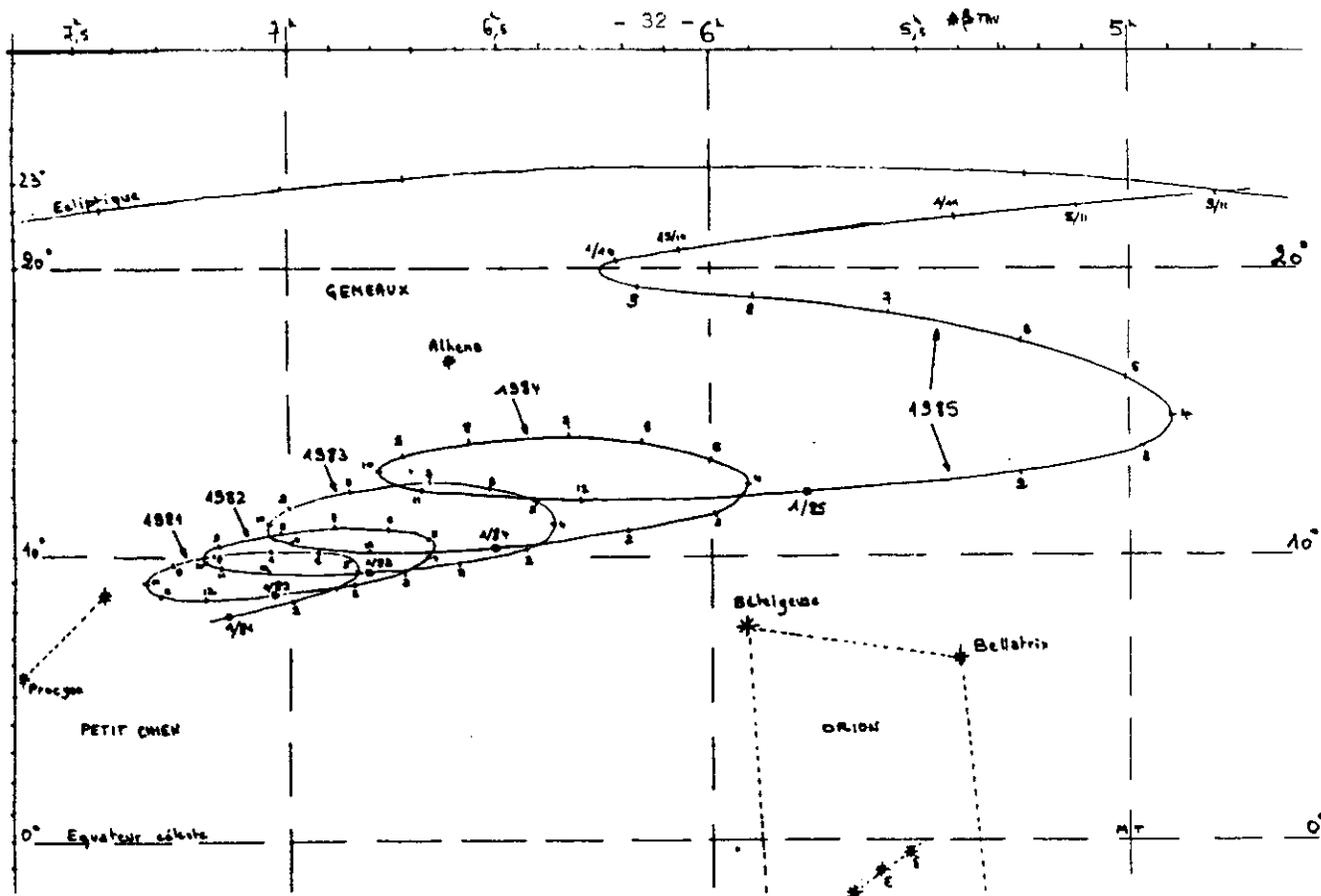


Fig.5 L'approche de la comète (coordonnées équatoriales).

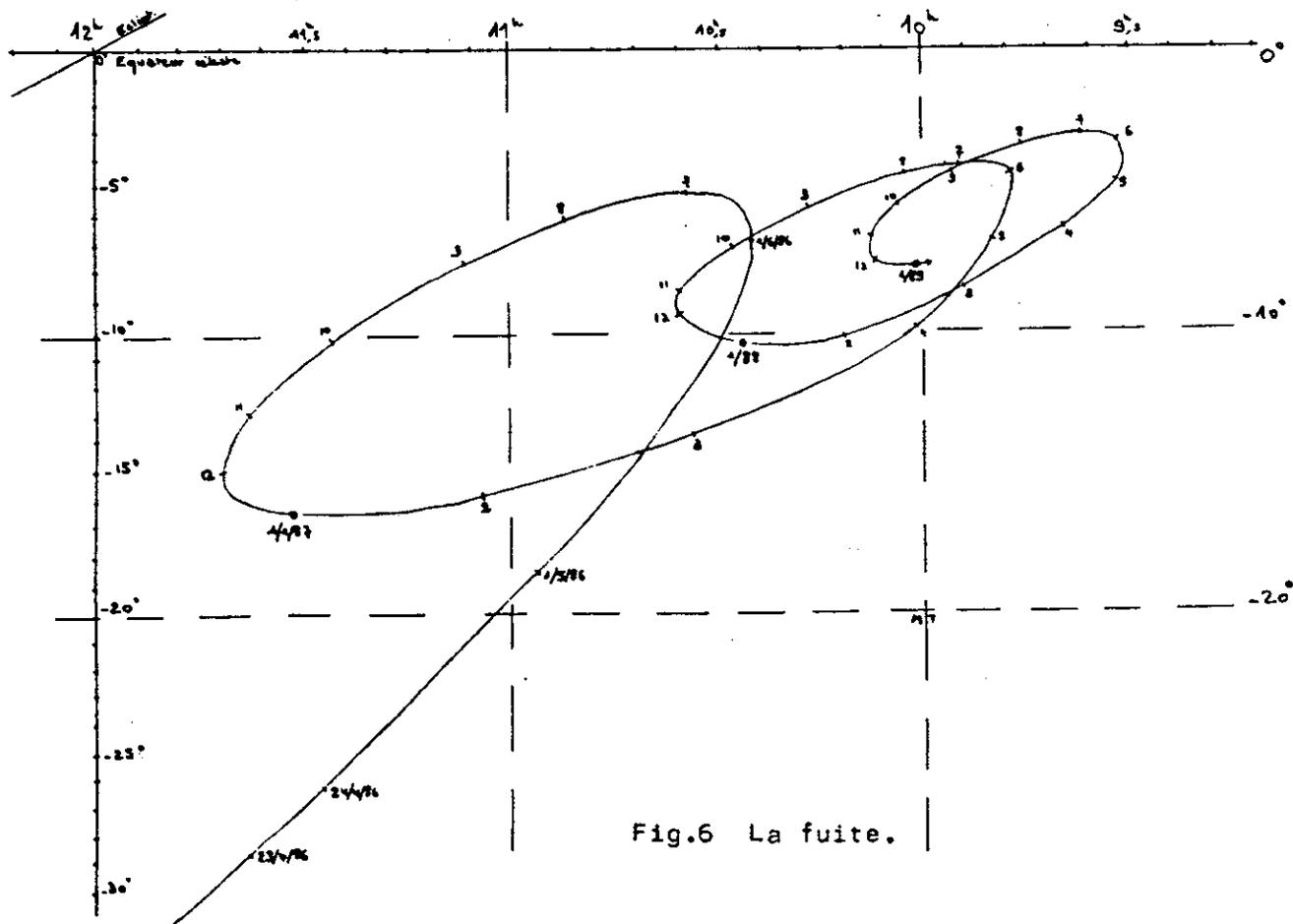


Fig.6 La fuite.

Fig.7a Coordonnées équatoriales.

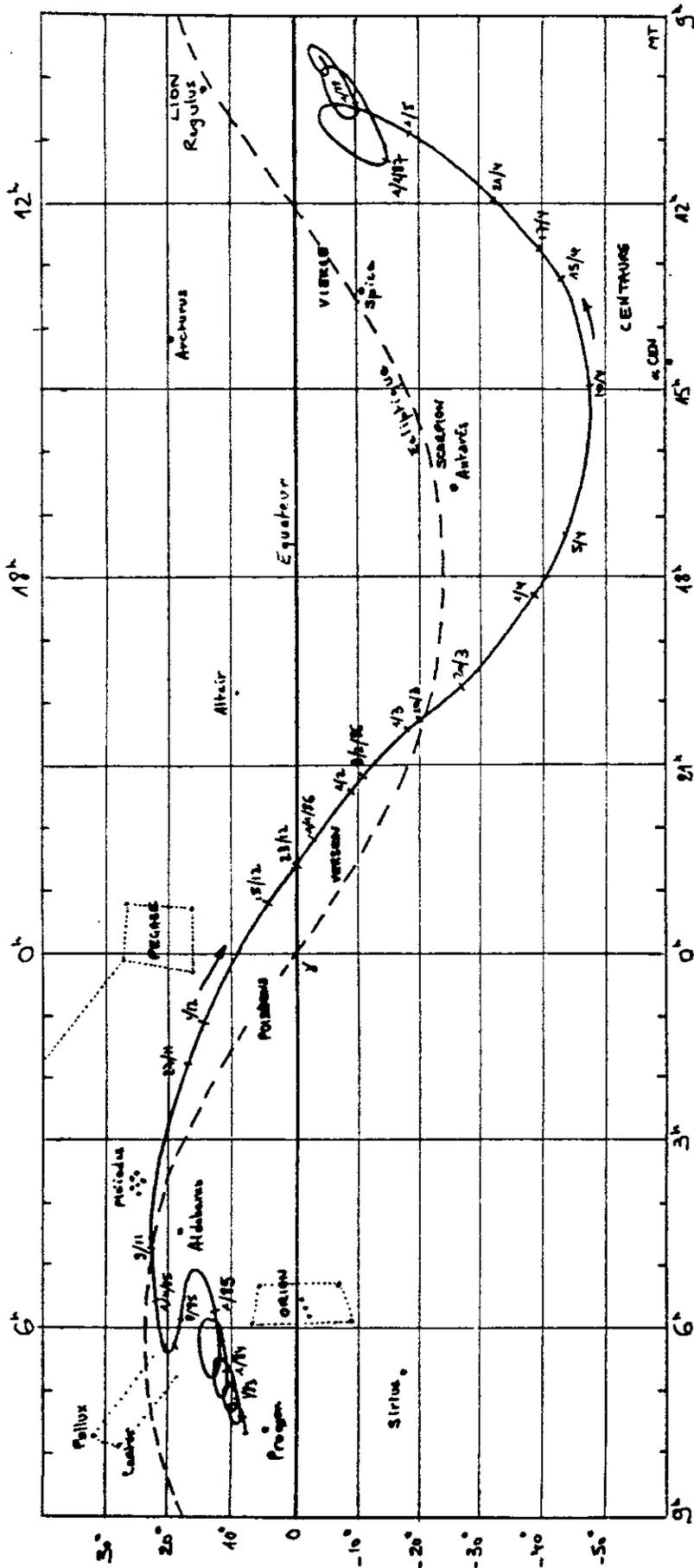


Fig.7b Coord. éclipitiques.

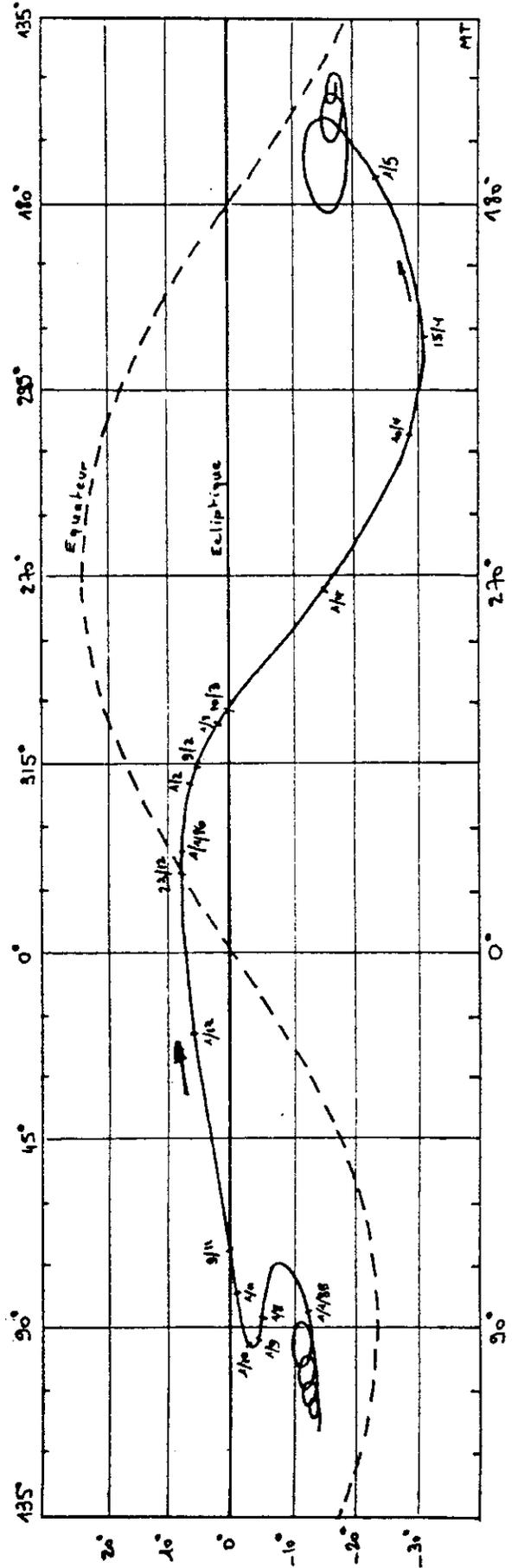


Fig.7 La Comète de Halley en 1985 / 1986.

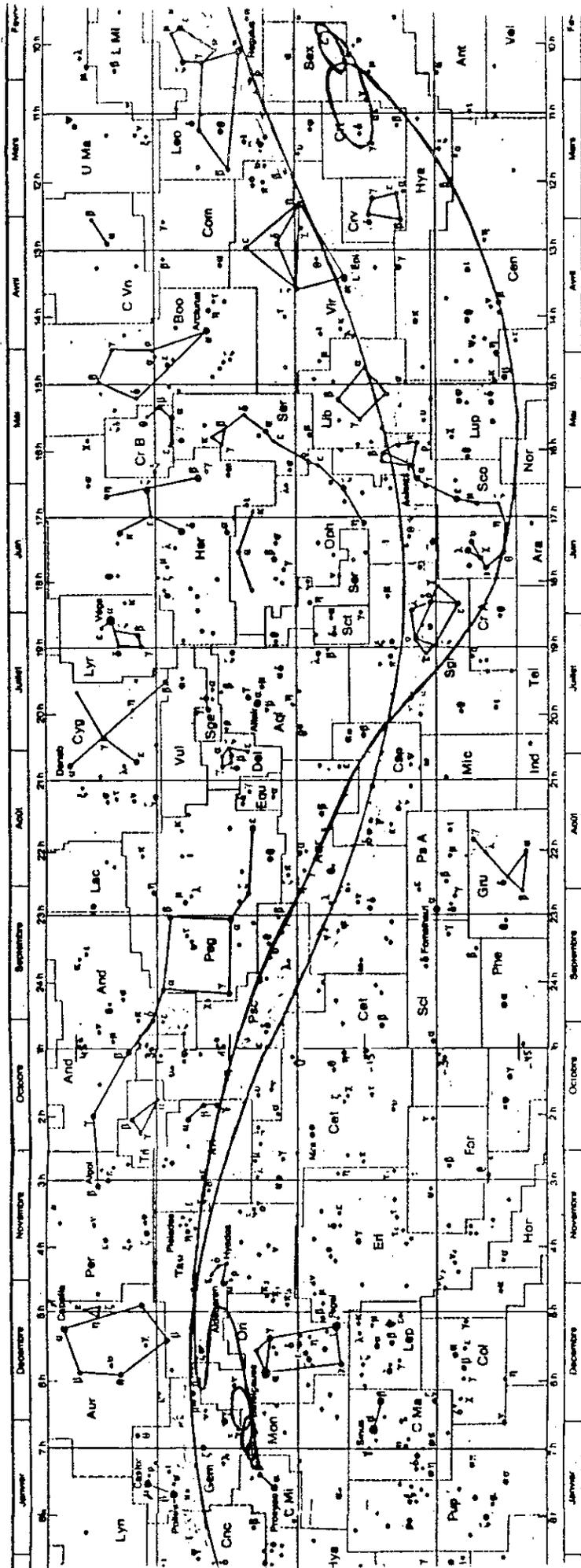


Fig. 7c. La Comète de Halley en 1985/86

COURRIER DES LECTEURS  
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Vénus, la planète... qui se couche trop tard et... qui se lève en retard... DANS le très intéressant article de Jacques Dupré "Eclat de Mercure et de Vénus", on peut lire page 13 CCn°28 : "Avec un mouvement diurne de 15° par heure, nous ne pouvons pas observer Vénus plus de trois heures avant ou après le coucher du Soleil."

Sans doute fallait-il lire "nous ne pouvons pas observer Vénus plus de trois heures après le coucher du Soleil ou plus de trois heures avant le lever du Soleil."

Cependant, d'après les Ephémérides du B.L., on constate que le 22 janvier 85, date de la plus grande élongation (47°2' E) Vénus s'est couchée 4 h 19 min après le Soleil à Paris. Par contre, le 12 juin 85, date de la plus grande élongation occidentale (45°45' W), le lever de Vénus ne précède celui du Soleil que de 2 heures, toujours à Paris.

Question : Pourquoi Vénus se moque-t-elle du mouvement diurne à ce point ?

N-B. J'ai bien une petite idée (latitude de l'observateur, obliquité de l'écliptique sur l'équateur ?) mais il serait souhaitable qu'un lecteur fasse un article complet sur la question dans un prochain cahier.

J-P.Rosenstiehl

La mesure du temps à l'époque gallo-romaine Depuis quelques années, des idées intéressantes et de nombreux projets et expériences traitant de problèmes de chronologie (notamment sur les calendriers) ont vu le jour et ont donné lieu à la publication (dans les Cahiers Clairaut ou ailleurs) de textes, maquettes ou documents pédagogiques de tout genre.

A l'occasion du projet "LA MESURE DU TEMPS A L'EPOQUE GALLO-ROMAINE" qui se met en place dans la région de Franche-Comté, avec la collaboration de Musées, de Centres culturels, de l'Observatoire, etc et avec comme objectif la réalisation d'une exposition itinérante regroupant les thèmes suivants: les calendriers et la société, le calendrier gaulois, le monde celte, la mesure du temps, chronologie et astronomie, ... nous avons l'intention de regrouper toutes les idées et les documents touchant ces problèmes.

Nous présenterons tout ce matériel sous forme de maquettes, panneaux et dans la publication d'un document regroupant tous ces travaux originaux.

Si vous êtes intéressé par ce projet, si vous possédez de tels documents (articles, plans de maquette, programmes pour micro-ordinateurs,...) ou seulement si vous avez des idées de projets, écrivez-nous aux adresses - Jean-Paul PARISOT et François PUEL, Observatoire de Besançon, 25044 BESANCON CEDEX 6 T2L 581) 80 22 66

- Françoise SUAGHER, 18 chemin de Canot, 25000 BESANCON, tél (81) 814773.

La hauteur de l'étoile filante Extrait d'une lettre de Robert Boucherie, à Miramont : "Cahier 17, p.29 petit problème sur la hauteur d'une étoile filante. Je le résouds et trouve 362,57 km ; cela me paraît un peu haut pour une étoile filante. Je cherche dans les numéros suivants et je trouve Cahier 19, P.27 résultat 125 km cela me semble normal. Je crois que le Collègue n'a pas tenu compte de la rotondité de la Terre..."

La rédaction a refait le calcul et trouve bien 362 km ; est-ce vraiment trop haut pour une étoile filante ?

Parmi nos lettres Beaucoup de petits mots aimables dans les lettres qui accompagnent le chèque de réabonnement et aucune récrimination. Une seule réclamation ou plutôt un regret : que la fiche de réabonnement soit au dos de la page jaune de couverture ; mais les lecteurs qui ne veulent pas mutiler cette page peuvent se contenter de la recopier sur une feuille quelconque.

Sur le contenu des Cahiers, voici deux avis :

"Je pense que chacun peut trouver ce qui l'intéresse à son niveau et si, personnellement, j'ai parfois fait l'impasse sur la lecture de certains articles qui me semblaient "touffus", je suis contente de pouvoir me reporter à ces mêmes articles lorsqu'ils me sont nécessaires. En effet, j'ai créé un club d'astronomie dans mon collège ce qui m'oblige à approfondir les connaissances acquises pendant les stages d'hiver et écoles d'été. J'ai fait faire aux élèves du club (élèves de 4ème et 3ème) la manip de la détermination de l'orbite de Mars conforme à celle qu'a faite Kepler ce qui a provoqué un vif intérêt chez les uns ... et une résistance passive chez les autres ! Il est bien difficile de contenter tout son monde." Mme Pietees (Sucy-en-Brie).

"Un grand merci pour avoir fait paraître dans le Cahier 28 le texte d'élèves de 6ème sur les amours du Soleil et de la Lune. Voilà tout trouvé mon prochain sujet d'expression écrite pour mes gamins de dix ans." Sylvie Affouard, institutrice à Bourgtheroulde.

Voici maintenant un avis qui contredit ce que G.W. a écrit dans "Lectures pour la Marquise.." : "Je suis de ceux qui aiment beaucoup "Poussières d'étoiles" par Hubert Reeves. Contrairement à ton opinion, je ne trouve pas le texte trop lyrique, il me paraît plutôt simple et chaleureux à la fois, ce qui fait le plus souvent défaut aux ouvrages scientifiques. J'ai vu dans mon entourage des gens s'intéresser à l'astronomie et à la cosmologie par le biais de cet ouvrage." Gérard Hess (St Firmin des Bois).

L'Association Normande d'Astronomie a acquis la collection complète des Cahiers et nous donne des indications sur ses projets : remontage d'antennes de radioastronomie récupérées à Nançay, un voyage à Meudon et la préparation d'une exposition en 1986 au Théâtre de Caen.

Dans Le Point de Lagrange, bulletin de l'association orléanaise AEAAC, un article de notre Collègue Eric Varanne sur le cadran solaire du parvis de la cathédrale d'Orléans et les projets de l'AEAAC (le samedi à son local, 27 rue de Recouvrance, Orléans). Avis aux amateurs.

MIZARRERIES

où nous réunissons quelques perles astronomiques amusantes ou instructives recueillies par les lecteurs des Cahiers, aussi bien dans les journaux que dans les copies de certains élèves. Du genre de cette phrase retrouvée dans un écrit de l'Académicien que fut Louis Armand et qui date du 9 janvier 1963 : "Nous avons un dimanche dans la semaine parce qu'il n'y avait que sept planètes quand on a fixé le calendrier."

- Une semaine fantastique annonçait récemment un grand magasin parisien pour une vente promotionnelle. Fantastique, cette semaine l'était effectivement, elle durait plus de douze jours.

- Dans l'hebdomadaire Point de vue du 5 avril 1985, la rubrique des coutumes et légendes de Pâques nous en apprend de belles : "...des astronomes ont établi que dans les premières années de notre ère, c'est seulement le 3 avril 33 que, le même jour, une éclipse de Soleil et une éclipse partielle de Lune furent perceptibles à Jérusalem." On notera toutefois que les astronomes en question sont protégés par un complet anonymat.

- Le Monde du 19 avril 1985 : "Eurêka, le cri célèbre d'Archimède découvrant dans son bain les lois de la pesanteur."

Lecteurs des Cahiers, soyez vigilants et alimentez cette rubrique plus instructive que beaucoup d'autres.

\* \* \* \* \*  
\*  
\* VOUS ETES-VOUS REABONNE AUX CAHIERS CLAIRAUT ? \*  
\* FAITES-LE VITE, SINON CE NUMERO EST LE DERNIER QUE VOUS RECEVREZ ... \*  
\*  
\* \* \* \* \*

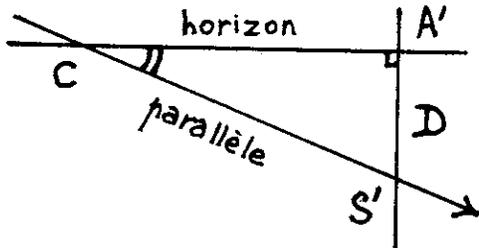
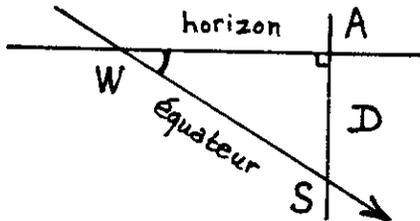
A PROPOS DE LA DUREE DU CREPUSCULE

Note de la rédaction: Le SOS en provenance de Limoges (voir CC n°28, p.35) a été entendu. Nous avons reçu deux réponses. La première émane de notre collègue René Dumont, astronome à l'observatoire de Bordeaux. Nous la publions ci-dessous. Bien que le problème posé se prête mal à des simplifications, l'article de René Dumont parvient à le clarifier sans trop de formalisme mathématique, mais aussi - et c'est tout son mérite - sans perte de rigueur.

Nous publierons dans le prochain numéro la réponse de Jacques Vialle, correspondant CLÉA pour l'académie de Poitiers: il entre un peu plus dans la trigonométrie sphérique, ce qui intéressera peut-être les connaisseurs. Merci à tous deux.

Pourquoi la durée du crépuscule est-elle minimale vers les équinoxes? Problème hérissé de trigonométrie sphérique, et se prêtant peu à des explications simples ou intuitives. Cherchons malgré tout.

Aux équinoxes où le Soleil parcourt l'équateur, le temps qu'il met pour s'abaisser au-dessous de l'horizon d'un angle de "dépression" donné se calcule facilement tant que cet angle reste petit. Au lieu des 18° du "crépuscule astronomique", des 12° du "nautique" ou des 6° du "civil, imaginons un crépuscule "infinitésimal" correspondant à une dépression D aussi petite qu'on voudra (1° par exemple, ou moins). L'arc d'équateur que doit parcourir le Soleil après son coucher en W (point ouest) pour s'abaisser de D peut alors se trouver en trigonométrie plane, car le triangle WSA est si petit qu'il revient au même de le dessiner sur la sphère céleste ou sur son plan tangent en W.



L'hypothénuse WS vaudra  $D/\sin \hat{W}$ . Cet angle  $\hat{W}$  entre l'équateur et l'horizon est le complément de la latitude du lieu d'observation. L'arc WS mesure la durée du crépuscule infinitésimal, puisque le tour complet de l'équateur est bouclé en 24 heures. Pour Limoges par exemple - ville d'où fut lancé le SOS-crépuscules! - la latitude avoisine 46°, donc  $\hat{W} = 44^\circ$ ; pour  $D = 1^\circ$ , on trouve 1,44° soit 5 minutes et 45 secondes. Pour  $D = 1'$  on trouverait 60 fois moins... Dessinons un triangle similaire lorsque le Soleil n'est plus à l'équateur mais à une déclinaison quelconque, australe de préférence puisque c'est l'allongement du crépuscule en automne qui paraît avoir été mal compris. Le Soleil s'est couché en C, au sud-ouest et non à l'ouest; il a parcouru un arc de parallèle, CS', au lieu d'un arc d'équateur; et l'angle en C n'est plus le même que l'angle en W.

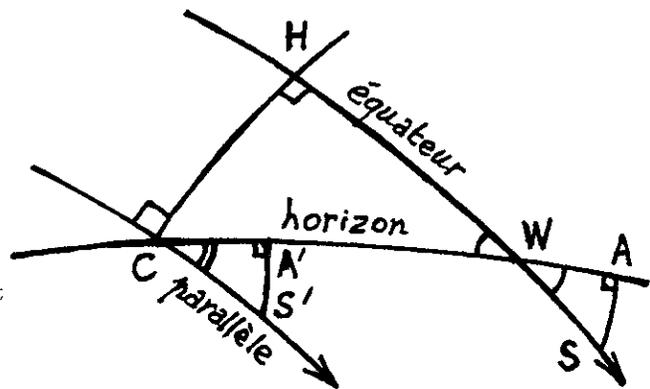
Ces l'angle parallèle-horizon. Il est assez facile de voir que  $\hat{C} < \hat{W}$ .

Si, en effet, nous abaissons de C la "perpendiculaire" (curviligne, car on ne peut pas échapper longtemps à la trigonométrie sphérique dans un problème dont c'est la nature) CH sur l'équateur, nous avons un triangle sphérique WCH, rectangle en H. La somme des angles d'un triangle sphérique étant supérieure à 180°, la somme des angles en W et en C du triangle WCH excède 90°; et comme le parallèle qui est la trajectoire du Soleil est évidemment normal en C à CH, l'angle  $\hat{C}$  qui nous intéresse est forcément plus petit que l'angle  $\hat{W}$ .

Par suite, on aura  $CS' > WS$  (deuxième triangle plan plus pointu que le premier, avec un côté inchangé).

Pour s'abaisser sous l'horizon d'un angle D petit et quelconque, le Soleil a donc moins de chemin à faire sur le ciel un jour d'équinoxe que n'importe quel autre jour, même d'automne ou d'hiver. D'autre part, il va plus rapidement à l'équinoxe, puisqu'il boucle dans le même temps de 24h tout l'équateur du ciel, au lieu d'un parallèle qui est plus court. Deux effets vont donc s'ajouter pour rendre minimale la durée de notre crépuscule aux époques d'équinoxes.

En pratique, ce raisonnement "infinitésimal" reste approximativement valable pour des angles de dépression finis. Cependant les minima s'écartent légèrement des équinoxes quand D augmente ( 1er mars et 15 octobre pour  $D = 18^\circ$  et  $60^\circ$  de latitude, par exemple), ainsi qu'un renfort de petits triangles permettrait probablement de le démontrer...



René DUMONT

(Astronome à l'Observatoire de Bordeaux)

L'ASTRONOMIE ET LE PHILOSOPHE  
II - ASTRONOMIE ET MATHÉMATIQUES

"les astres instituteurs" Alain (14)

Le monde supralunaire ne connaît que le mouvement local, le déplacement. Il ignore la naissance et la mort, l'évolution et le vieillissement.

Comment apparaissent ces objets mobiles? comme des points. Certes, le ciel est peuplé d'objets plus "sensibles": le Soleil (qui me chauffe) et la Lune (qui m'éclaire); on y rencontre aussi d'étranges nébulosités; mais à l'exception de la Voie Lactée, l'oeil nu n'en découvre que fort peu.

Tous les objets célestes peuvent donc - et même doivent - être d'abord considérés comme des points mobiles, repérables par un système de coordonnées. Soleil et Lune, en dépit de leur surface apparente, n'échappent pas à cette nécessité: prévoir une éclipse, pour l'astronome, c'est calculer l'instant où trois points se trouveront alignés.

Telle est la chance de l'astronomie, et la raison de sa vénérable ancienneté: l'étude du ciel commence par une phoronomie\*. La géométrie suffit.

Précisément parce qu'ils sont à portée de nos expériences, ici-même, dans toute la richesse de leur apparence sensible, les objets terrestres sont infiniment plus difficiles à connaître. Qu'on songe à la multitude d'obstacles dont se hérissent la connaissance rationnelle d'un être vivant, ou des mécanismes de l'hérédité; aux énigmes muettes que représentent des phénomènes aussi communs que la chute des corps, la flottaison, l'électricité, l'aimant.

Derrière ses qualités sensibles attrayantes, riches, spectaculaires, le réel est trop touffu, en fait impénétrable. D'objet à connaître, il se métamorphose en obstacle à la connaissance. Gaston Bachelard a fait la théorie de ces "obstacles épistémologiques" (La formation de l'esprit scientifique).

Le monde céleste, au contraire, est transparent. Non que les structures et les lois s'y laissent immédiatement découvrir: il a fallu deux millénaires pour que s'impose un modèle adéquat du système solaire. Mais aucune qualité sensible ne vient s'interposer entre l'observateur et son objet. C'est pourquoi il s'agit moins d'observer que de mesurer et de calculer (des espaces et des temps). Képler illustre magnifiquement, avec la découverte des trois célèbres lois, la nature géométrique de la mécanique céleste. Certes, Képler s'appuyait sur les observations de Tycho-Brahé, mais ces observations concernaient les positions et les trajectoires; elles n'avaient aucun caractère physique.

Mettre l'oeil à la lunette pour constater les changements d'éclat d'une étoile variable ou pour s'émerveiller des anneaux de Saturne, cela peut faire naître une vocation; ce n'est pas encore être astronome.

---

\* Dans les Premiers principes métaphysiques de la science de la nature, Kant définit la phoronomie: la science qui "considère le mouvement comme un pur quantum, d'après sa composition en laissant de côté toute qualité du mobile" (15). Elle se distingue de la dynamique et de la mécanique, qui considèrent les forces.

L'astronomie est donc la première science qui s'ouvre aux mathématiques. La physique ne s'engagera dans la même voie que beaucoup plus tard, avec Galilée. Le recours aux mathématiques est l'unique chance de se soustraire à la tyrannie des apparences sensibles, et il n'y a pas de science de la sensation. En étudiant le phénomène de la chute des corps, Galilée comprendra que les mathématiques - tout humaine que soit leur origine - garantissent seules l'objectivité des connaissances physiques, qu'"il n'y a de science proprement dite qu'autant qu'il s'y trouve de mathématiques" (16).

On trouvera chez Platon une explication parfaite du sens de la mathématisation en astronomie. Au VIIème livre de la République, Platon définit la tâche de l'astronome: chercher, derrière les mouvements visibles complexes, la construction intelligible simple qui en rendra compte. Certes, "on doit considérer les ornements du ciel comme les plus beaux", mais le plus beau ne se voit pas, ou du moins, il ne se voit pas avec les yeux. L'intelligence seule peut accéder à la contemplation du vrai monde. Ce monde des essences est immuable et éternel; seul il mérite le qualificatif de réel; le monde visible n'en est que l'image dégradée.

L'astronomie élève l'âme. Non pas, comme le croit naïvement l'interlocuteur de Socrate, parce qu'elle nous force à regarder en l'air, mais bien parce qu'elle opère une conversion, la conversion à l'intelligible. Elle figure donc, avec l'arithmétique et la géométrie, au premier rang des disciplines propédeutiques à la connaissance suprême, celle du Bien. La cité en imposera l'étude à ceux qu'elle destine à son gouvernement.

"Mathemata mathematicis scribuntur"\*. Cette déclaration que Copernic place en exergue du De Revolutionibus est platonicienne; on pourrait aussi bien lui substituer l'inscription gravée au fronton de l'Académie\*\*:"Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre". Il est d'ailleurs certain que l'astronomie copernicienne doit beaucoup aux calculs et fort peu aux observations: "Il ne faut pas nous imaginer Copernic passant ses nuits à scruter le ciel afin d'y découvrir des faits nouveaux déterminant la position des corps célestes" (17). Si Copernic propose de substituer l'héliocentrisme au géocentrisme, ce n'est pas sur la foi d'observations contredisant ce dernier; c'est parce que la représentation héliocentrique offre un modèle mathématique plus simple. Démarche toute platonicienne.

#### LE COSMOS RATIONNEL

La conception platonicienne de l'astronomie est cohérente avec la cosmogonie proposée par un autre dialogue: le Timée. Au commencement était le "chaos": matière amorphe, indéterminée, prête à recevoir n'importe quelle empreinte ou forme. Sur cette matière - dont Platon ne détermine pas très précisément les caractéristiques - s'effectue le travail du Démon, artisan divin créateur du monde. Contrairement

---

\* Les mathématiques sont écrites pour les mathématiciens.

\*\* Académie: l'école où Platon enseignait à Athènes.

à ce qui se passe dans la Genèse biblique, le créateur ne tire donc pas le monde du néant. Plutôt que créateur, le Démonstrateur est "organisateur"; il intervient comme principe d'ordre. Encore ne crée-t-il pas davantage cet ordre; il le trouve "tout prêt". C'est le monde des idées, l'univers intelligible éternel et immuable, accessible à l'intelligence seule. Ce monde contient (sans idée spatiale, bien sûr) les modèles idéaux, parfaits, de toute réalité; les nombres jouent dans ce monde un rôle particulier (Le pythagorisme est l'une des sources théoriques du platonisme).

Qu'est-ce que le monde visible? Une sorte de compromis entre les exigences de la matière brute et la perfection idéale des essences. Faire de l'astronomie, c'est retrouver ces dernières dans la première\*. Comme le dira Paul Langevin à propos de toute science: expliquer du visible compliqué par de l'invisible simple.

Nous avons évoqué l'inspiration platonicienne de l'oeuvre de Copernic. Ce rapprochement légitime ne doit pas gommer les différences. Pour Platon, l'intelligible est un monde absolument réel, même si cette réalité est toute métaphysique. Le siècle de Copernic ne partage certainement pas ce réalisme des essences. Certains coperniciens - parmi eux l'imprimeur du De Revolutionibus: Andreas Osiander - n'hésitent même pas à qualifier l'héliocentrisme de simple "hypothèse" mathématique, sans prétention à l'objectivité: "il n'est pas nécessaire que ces hypothèses soient vraies ni même vraisemblables; une seule chose suffit: qu'elles offrent des calculs conformes à l'observation." (18). Les amis de Copernic - et sans doute Copernic lui-même - ne virent dans la profession de foi positiviste d'Osiander que lâcheté vis-à-vis du pouvoir religieux. Ce débat, d'ailleurs extrêmement actuel, paraît relever de subtilités philosophiques excessives. Son enjeu est pourtant capital: il s'agit de savoir quel statut on accorde à la rationalité mathématique du cosmos. Faut-il la concevoir sur le mode de l'objectivité, et en faire une structure réelle de celui-ci? Faut-il au contraire n'y voir qu'une construction de l'esprit sans prétention "réaliste", mais qui vaut comme modèle cohérent avec les phénomènes observés?

Galilée donnera à ces questions une réponse célèbre: la nature est écrite en langage mathématique; un langage dont "les caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques" (19).

Mais si la nature est un livre, il faut un auteur à ce livre, car les livres ne s'écrivent pas tout seuls. La nature, le ciel en particulier, font signe vers un auteur dont la puissance n'a d'égale que l'immensité des cieux, dont la sagesse ressemble à la magnifique harmonie qui règle le cours des astres. L'univers montre la perfection divine dans "ses oeuvres les plus sublimes" (20). C'est le Dieu horloger de

---

\* Ces formulations ne doivent pas induire en erreur: Platon ne pense pas du tout à faire "entrer" la rationalité mathématique dans le réel sensible et à lui conférer une quelconque objectivité (concept non platonicien). Le sensible participe de l'intelligible, selon des modalités dont la détermination reste pour Platon source de problèmes théoriques difficiles (Voir le dialogue Parménide).

Newton et de Voltaire\*.

On sait toutefois que Newton tenait pour insoluble cette question: comment les corps animés de mouvement et soumis à la seule loi de la gravitation universelle peuvent-ils s'organiser en un système stable comme le système solaire? A cette question, il répondait: "Je ne pense pas que ce soit explicable par des causes seulement naturelles, mais je suis forcé de l'attribuer au conseil et à la délibération d'un Agent volontaire" (21). Il ajoutait: "celui qui a arrangé cet Univers, a mis les étoiles fixes à une distance immense les unes des autres, de peur que ces globes ne tombassent les uns sur les autres par la force de leur gravité" (22). Cette intervention perpétuelle de Dieu dans sa création embarrassera les newtoniens les plus exigeants, qui verront à juste titre dans ces "explications" un recul de la rationalité par rapport à la période précédente.

A Dieu, Descartes ne demandait qu'une chiquenaude initiale pour lancer le mouvement dans l'univers. "Après cela, note Pascal avec amertume, il n'a plus que faire de Dieu" (23). Toute explication relève du seul mécanisme.

Kant est le théoricien philosophique de ce problème. Dans la préface d'un ouvrage connu des astronomes: Histoire générale de la nature et théorie du ciel, il s'explique sur la prétention du savant à rendre compte des phénomènes naturels par une explication intégralement mécanique. C'est rendre un très mauvais service à l'astronomie, mais aussi à la religion, que de recourir à Dieu comme à une cause qui agirait pour "rattraper" les effets pervers d'un déterminisme naturel laissé à lui-même. Au point de vue scientifique, c'est stériliser la recherche que se satisfaire d'une explication par la providence; "on fixe ainsi des limites à l'investigation de la nature"; c'est "la raison humiliée par la confiance paresseuse" (24). Au point de vue religieux, l'explication par la providence s'expose au risque de voir découvertes les causes naturelles du phénomène qu'elle imputait à la prévoyance divine, et de donner ainsi des arguments à l'athéisme.

Laplace, dans une conviction rationaliste très kantienne, reprendra le problème de Newton afin de nettoyer l'histoire du système solaire de toute intervention divine. On connaît la réponse qu'il fit à Napoléon lui faisant remarquer que Dieu ne tenait aucune place dans son système du monde: "Sire, je n'ai pas besoin de cette hypothèse".

En fait, le génie philosophique de Kant consiste à avoir compris (mieux que Newton lui-même) que la mécanique céleste, et la théorie de l'attraction universelle qui la soutient, ruinent définitivement les prétentions de l'argument téléologique, qui croyait prouver Dieu à partir de l'harmonie des cieux. L'explication mécanique ne saurait être prise en défaut.

L'idée que l'univers est rationnel (et que cette rationalité est d'ordre mathématique) est donc d'origine astronomique. Certes, on la trouve très tôt dans les spéculations pythagoriciennes sur le rôle et la signification des nombres dans l'univers. Mais nous avons vu "la science nouvelle - physique géométrique, géométrie physique - naître dans les cieux, pour en descendre à terre, et remonter aux cieux" (25).

\* Au XVIIIème siècle, c'est surtout dans la complexité organisée des êtres vivants qu'on verra la marque de la sagesse divine; mais tandis que l'organisme biologique implique la prévoyance et la bonté de l'être suprême, les cieux témoignent plutôt de son immensité et de sa puissance. Ce sont là les deux thèmes principaux de l'argument téléologique en faveur de l'existence de Dieu.

L'astronomie ne figure pas seulement à l'origine de l'idée d'une rationalité mathématique du réel. Elle n'a cessé de féconder cette rationalité en suscitant de nouvelles productions mathématiques: cinématique, trigonométrie, calcul différentiel (le "calcul des fluxions" newtonien) ou physiques: théorie de la gravitation universelle.

Mais l'idée classique d'une éternité et d'une unité immuable de cette rationalité a cédé sous la pression de développements scientifiques nouveaux: géométries non euclidiennes, relativité, mécanique ondulatoire. "La doctrine traditionnelle d'une raison absolue et immuable n'est qu'une philosophie. C'est une philosophie périmée" dit Gaston Bachelard (26). Dans ce processus de "dialectisation" des principes de l'esprit", l'astronomie joue un rôle décisif en ouvrant à l'expérimentation relativiste un champ nouveau. Des expériences astronomiques ont servi à montrer la caducité scientifique des cadres newtonien ou kantien fixés à l'espace et au temps.

#### "DU MONDE CLOS A L'UNIVERS INFINI"\*

Les premières cosmologies antiques présentent le monde comme une Terre plate surmontée d'une coupole céleste, le disque terrestre flottant souvent sur l'eau. "Une bulle d'air et un radeau solide, voilà l'univers engendré"(27). L'ensemble est aux dimensions de l'humanité, puisqu'on n'hésite pas à faire supporter le ciel par la cime des montagnes.

En 1643, Descartes écrit dans les Principes de la philosophie: (28)

" Que l'étendue du monde est indéfinie\*\*

Nous saurons aussi que ce monde, ou la matière étendue qui compose l'univers, n'a point de bornes, parce que, quelque part où nous en veuillons feindre, nous pouvons encore imaginer au-delà des espaces indéfiniment étendus, que nous n'imaginons pas seulement, mais que nous concevons être tels en effet que nous les imaginons, de sorte qu'ils contiennent un corps indéfiniment étendu, car l'idée de l'étendue que nous concevons en quelque espace que ce soit, est la vraie idée que nous devons avoir des corps."

Entre ces deux représentations, un abîme. Le passage d'une conception "close" du monde à l'idée d'un univers infini résulte d'un processus culturel dont les historiens avouent l'extrême complexité idéologique (29). On ne saurait parler de "révolution", car ce passage ne fut rien moins qu'une mutation brusque: "La bulle du monde a commencé par enfler et s'élargir avant d'éclater et se perdre dans l'espace" (30).

Rappelons que le système de Copernic tient encore largement à l'ancienne image d'un monde clos: pour lui, la "sphère des étoiles fixes" est " le lieu de l'Univers auquel se rappor-

\* La formule est d'Alexandre Koyré: Du monde clos à l'univers infini Gallimard, collection "Idées" N°301. Le paragraphe qui suit est largement redevable à ce livre proprement captivant, qui ne tolère pas le résumé.

\*\*On remarquera que Descartes réserve l'adjectif "infini" à Dieu.

tent le mouvement et la position de tous les autres astres" (31). Le monde de Copernic est "immensum"; mais il est fermé.

L'idée d'un univers infini est grecque: on la trouve dans la tradition matérialiste épicurienne, notamment chez Lucrèce:(32)

"notre univers n'a point d'extrémité, donc point de limite ni de mesure. Peu importe la position qu'on y occupe: toujours, de tous côtés, à partir de chaque position, le tout immense s'étend à l'infini."

Mais autant que l'infinité, importe l'identité en tous points de cet univers. Tandis que le monde aristotélicien est hiérarchisé, comme le sera aussi le monde copernicien\*, l'univers des atomistes antiques est parfaitement isotrope (ce qui ne veut pas dire homogène: Epicure et Lucrèce imaginent des mondes isolés séparés par des "intermondes"\*). Conception philosophique qui enregistre sur le développement scientifique une avance si considérable qu'elle ne peut l'assumer; comme l'atomisme, l'espace épicurien resta une géniale intuition.

Cette intuition sera d'ailleurs reprise par un autre "génie", mais trop métaphysicien et pas assez mathématicien pour lui donner un débouché scientifique: Giordano Bruno. Sa conviction que l'espace infini renferme une infinité de mondes lui vaudra le bûcher.

Il appartiendra à Galilée de donner une confirmation scientifique de ces intuitions. Galilée physicien, d'abord, montrera qu'il n'y a pas dans le monde un "bas", lieu naturel où tombent les corps "graves" (terre, eau), et un "haut", lieu naturel des corps "légers" (air, feu\*\*\*). Ces notions étaient à la base de la physique aristotélicienne. Dans le nouvel espace, tous les lieux s'équivalent; nulle direction, nulle finalité.

---

\* Copernic bouleverse les représentations géocentriques universellement admises, mais il n'abandonne pas l'idée que le monde est une totalité finie ordonnée autour d'un centre privilégié: "au milieu de tous repose le Soleil. En effet, dans ce temple splendide [le monde] qui donc poserait ce luminaire en un lieu autre, ou meilleur, que celui d'où il peut éclairer tout à la fois? (...) C'est ainsi en effet, que le Soleil, comme reposant sur le trône royal, gouverne la famille des astres qui l'entourent." (33)

\*\*Une telle intuition préscientifique coïncide de manière assez frappante avec des hypothèses cosmologiques des plus récentes. Plus généralement, la lecture du livre de Lucrèce La Nature conduit le lecteur contemporain d'étonnements en étonnements.

\*\*\*Comme presque toutes les physiques de l'antiquité grecque, la physique aristotélicienne repose sur une théorie des quatre éléments et de leurs combinaisons. L'idée que tous les corps naturels sont composés de terre, d'eau, d'air ou de feu peut aujourd'hui paraître assez rudimentaire et naïve. Elle soutient pourtant la première tentative humaine de construire une physique matérialiste, c'est-à-dire dégagée de toute mythologie ou explication par des principes divins.

La fameuse lunette va précipiter les astres de leur trône divin. Jupiter a des satellites: la Terre n'est donc pas le centre de tout. La Lune est hérissée de montagnes et creusée de vallées, le Soleil lui-même est maculé de taches! où sont les sphères parfaites, idéales dont parlent les savants chrétiens fidèles à Aristote? Nul lieu dans l'univers ne peut plus prétendre à une dignité ontologique supérieure.

Descartes est le théoricien de ces révolutions. On objectera peut-être que sa physique est un "roman" tissu d'erreurs; qu'il méprise l'expérimentation. On n'aura pas tort, mais on oubliera l'essentiel: que l'entreprise cartésienne se veut fondatrice, c'est-à-dire métaphysique.

Soit la fameuse formule galiléenne: la nature est un livre écrit en langage mathématique. On voit bien en quoi l'affirmation est commode pour le physicien ou l'astronome; mais seul le succès de la pratique scientifique la légitime. Cette formule est bien vérifiée, mais elle n'est pas fondée, c'est-à-dire qu'elle n'est pas comprise. Ce que Galilée fait, Descartes va le penser.

A quelles conditions une matière brute étendue peut-elle se plier à l'ordre géométrique? De quelle nature relève la causalité propre à cette substance matérielle? Qu'est-ce qui garantit à notre esprit (inétendu) un accès cognitif à cette réalité extérieure? Comment la rationalité du sujet est-elle cohérente avec l'ordre de l'objet? Autant de questions qui échappent à la pratique (et à la théorie) scientifique, questions qui relèvent de la métaphysique.

Il ne peut être question d'exposer les solutions cartésiennes\*. Il suffit de savoir que l'exigence imposée par la philosophie à toute science naturelle se résume à un principe: seule vaut l'explication mécanique, c'est-à-dire géométrique, puisque la matière n'est qu'étendue et mouvement. L'astronomie (ainsi que la physique) peut sereinement s'élanter dans les tâches infinies de la connaissance, puisque l'étendue sans limites de l'espace est tout entière taillée dans la même étoffe et gouvernée par les mêmes lois: "La terre et les cieux sont faits de la même matière (...)  
quand même il y aurait une infinité de mondes, ils ne seraient faits que de cette matière; d'où il suit qu'il ne peut y en avoir plusieurs." (34).

\* La fondation métaphysique d'un savoir certain constitue l'oeuvre proprement philosophique de Descartes; entreprise sans exemple dans l'histoire de la pensée humaine, ce très long détour est suivi par Descartes dans les Méditations métaphysiques. Le Discours de la méthode en donne un aperçu moins ardu.

(... à suivre)

Patrick Dupouey

(Lycée Jean Moulin à Montmorillon)

AVEZ-VOUS PENSE A VOUS REABONNER AUX CAHIERS CLAIRAUT ?

ATTENTION, SI VOUS NE L'AVEZ PAS FAIT CE NUMERO EST LE DERNIER QUE VOUS RECEVREZ !

EN ATTENDANT SON RETOUR ... (2)

Après une interruption, due à des causes purement terrestres, poursuivons notre feuilleton historico-astronomique pour apaiser un peu notre impatience avant le retour de la comète de Halley. Depuis Tycho Brahé, les comètes ont acquis leur statut d'objets célestes. Leurs apparitions imprévues et leurs mouvements par rapport aux étoiles fixes posent alors le problème de leurs orbites. Kepler remarque très vite que la trajectoire rectiligne ne convient pas. Mais il ne s'attache pas à ce problème ; à quoi bon s'acharner à calculer l'orbite d'un astre qui doit bientôt disparaître ? L'astronome, pense-t-il, a mieux à faire...

2.1. Les comètes de 1665 et de 1680

Deux comètes, celle de 1665 et celle de 1680, firent avancer la solution par les observations qu'elles permirent et par les polémiques qu'elles provoquèrent.

La comète de 1665 fut exceptionnellement brillante. Elle intrigua Louis XIV et c'est peut-être pour cette raison qu'une réunion fut organisée à son sujet au Collège de Clermont (devenu depuis lycée Louis-le-Grand). Ce premier colloque consacré à la physique des comètes révéla d'ailleurs que pour maints participants la nature céleste des comètes n'était pas encore un fait définitivement acquis.

Parmi ceux qui observèrent la comète citons Adrien Auzout et Cassini qui, indépendamment l'un de l'autre, cherchaient à approcher de l'orbite observée par un cercle très excentré. On connaît surtout Auzout comme l'inventeur du micromètre à fils qui devait grandement améliorer la précision des mesures de position. On sait moins que dès cette époque il écrivait à un prélat fort influent que l'hypothèse de Copernic n'était ni absurde ni philosophiquement fautive, les Saintes Ecritures n'ayant nullement pour objet de nous instruire sur les principes de la physique et de l'astronomie ; une opinion qui fut ensuite celle de Newton. A l'époque, Cassini était encore en Italie si bien que c'est curieusement par l'intermédiaire de la savante reine Christine de Suède qu'il eut connaissance du travail de Auzout sur la comète. Ils allaient bientôt se rencontrer à l'Observatoire de Paris.

Newton, dans son troisième livre "Du système du Monde" dans les Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle (que je noterai PMPN car nous aurons beaucoup à la citer), traite abondamment des comètes. Voici ce qu'il écrit de la comète de 1665 :

"La comète qui parut au mois d'avril 1665 surpassait par son éclat, selon Hévélius, presque toutes les étoiles fixes, & même Saturne par la vivacité de sa lumière. Ainsi cette comète était plus brillante que celle qui avait paru à la fin de l'année précédente. Laquelle cependant avait été jugée aussi brillante que les étoiles de première grandeur. Le diamètre de sa chevelure était presque de 6' & son noyau étant comparé aux planètes par le secours d'une lunette, était sans aucun doute plus petit que Jupiter, & paraissait quelquefois égaler le globe de Saturne, & quelquefois il paraissait plus petit. Or comme le diamètre de la chevelure des comètes passe rarement 8' ou 12', & que celui du noyau ou de l'étoile centrale est presque la dixième ou même quelquefois la quinzième partie du diamètre de la chevelure, il est clair que ces étoiles ont pour la plupart la même grandeur apparente que les planètes. Ainsi comme on peut ordinairement comparer leur lumière avec celle de Saturne & que quelquefois elle la surpasse, il est clair que toutes les comètes dans leur périhélie sont au-dessous de Saturne ou très peu au-dessus. Ceux donc qui les placent dans la région des étoiles fixes se trompent extrêmement : car à cette distance elles ne devraient pas être plus éclairées par notre Soleil que les planètes de notre système le sont par les étoiles fixes."

Newton se réfère avec juste raison aux observations de Hevelius, nom latinisé de Johann Hewelke (1611-1687), un patricien de Danzig (Gdansk) qui avait acquis la réputation d'un observateur très habile attaché à la précision de ses mesures. Notons aussi que dans le texte précédent Newton parle du périhélie de la comète mais sans rien préciser encore la nature de l'orbite. A l'époque, en 1665 (non à l'époque des PMPN), il essaye encore de représenter le mouvement de la comète sur une trajectoire rectiligne ainsi que faisait Kepler.

C'est Borelli (1608-1679), le savant de Messine, qui soupçonne le premier l'orbite elliptique des comètes. Mais il n'en apporte pas la démonstration. Son ambition était de créer une mécanique générale. Il identifie la physique terrestre et la physique céleste même s'il ne le formule pas aussi clairement que Newton le fera quelques années plus tard. Mais sa mécanique fondée sur le principe de la conservation du mouvement et de la vitesse ne prend pas en compte l'accélération ; elle ne pourra avoir la portée de la synthèse newtonienne. Cependant, pour les orbites de comète, il était en avance sur Newton qui reconnaîtra bien vite qu'il faut abandonner l'orbite rectiligne.

Autre précurseur, George Samuel Doerfel qui observa, depuis son village de Saxe, la comète de 1680. Découverte le 14 novembre, elle disparut peu après dans la lumière du Soleil pour réapparaître le 22 novembre. C'est en tout cas la thèse que défendit Doerfel, dans un ouvrage qu'il publia en 1681, contre ceux qui prétendaient qu'il s'agissait de deux comètes distinctes. Grâce à une subtile construction géométrique, sans calcul, il montre que la trajectoire de cette comète était parabolique. Avec une certaine audace, il en infère que toutes les orbites cométaires sont des paraboles.

## 2.2. La solution newtonienne

Dans le troisième livre des PMPN, Newton a commencé par expliquer le système du Soleil, de la Terre, de la Lune et des planètes quand il en vient à l'étude des comètes. Il justifie d'abord la proposition suivante :

|| "Lemme IV. Les Comètes sont placées au-dessus de la Lune et viennent dans la région des Planètes."

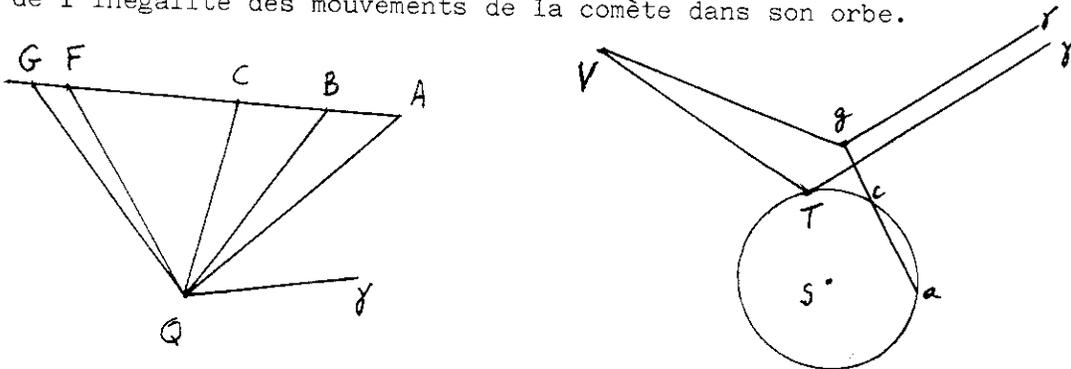
Justification qualitative pour commencer :

"De même que le défaut de parallaxe diurne fait voir que les comètes sont au-dessus des régions sublunaires, leur parallaxe annuelle prouve qu'elles descendent dans la région des planètes. Car les comètes qui vont suivant l'ordre des signes sont toutes, vers la fin de leur apparition, de plus en plus retardées ou même rétrogrades, si la Terre est entr'elles & le Soleil, & accélérées également, si la Terre est en opposition. Au contraire, les comètes qui vont contre l'ordre des signes vont plus vite vers la fin de leur apparition, si la Terre se trouve entr'elles et le Soleil, & elles vont plus lentement ou sont rétrogrades, si la Terre se trouve en opposition avec elles. Ces mouvements apparents des comètes viennent principalement des mouvements de la Terre dans ses différentes positions par rapport à elles, de même que les planètes nous paraissent quelquefois rétrogrades, quelquefois plus lentes & quelquefois plus promptes selon que leur mouvement conspire avec celui de la Terre ou qu'il lui est contraire. Si la Terre va du même côté que la comète, & qu'elle soit transportée autour du Soleil d'un mouvement angulaire qui surpasse assez celui de la comète pour que la ligne qui suivrait continuellement la Terre et la comète convergeât du côté qui est par delà la comète, la comète vue de la Terre paraîtra alors rétrograde à cause de son mouvement plus lent ; mais si la Terre est mue plus lentement, le mouvement de la comète (en retranchant celui de la Terre) devient encore plus lent.

Et lorsque la Terre ira du côté opposé à celui de la comète, la comète paraîtra plus rapide."

Suivons alors le raisonnement géométrique de Newton :

"Soient  $\gamma QA$ ,  $\gamma QB$ ,  $\gamma QC$  trois longitudes de la comète, observées au commencement de son mouvement, & soit  $\gamma QF$  la dernière longitude observée lorsque la comète cesse d'être aperçue. Soit de plus tirée la ligne ABC dont les parties AB, BC séparées par les lignes QA & QB, QB & QC, soient entre elles comme les temps écoulés entre les trois premières observations. Soit prolongé AC jusqu'en G, en sorte que AG soit à AB comme les temps entre la première et la dernière observation, est au temps entre la première & la seconde, & soit enfin tirée la ligne QG : si la comète était mue uniformément dans une ligne droite, & que la Terre fut en repos ou qu'elle avançât en ligne droite d'un mouvement uniforme, l'angle  $\gamma QG$  serait la longitude de la comète au temps de la dernière observation. L'angle FQG, qui est la différence de ces longitudes, est donc formé par l'inégalité des mouvements de la Terre et de la comète. Cet angle, si la Terre & la comète vont vers des côtés opposés, étant ajouté à l'angle  $\gamma QG$  rendra le mouvement apparent de la comète plus prompt ; mais si la comète et la Terre vont vers le même côté, il faut soustraire l'angle FQG de ce même angle  $\gamma QG$  et cette soustraction rendra le mouvement apparent de la comète plus lent, ou même rétrograde, comme je viens de le faire voir. Cet angle est formé principalement par le mouvement de la Terre, & par conséquent on peut le prendre pour la parallaxe de la comète, en négligeant le petit décrement ou le petit increment de cet angle qui peut naître de l'inégalité des mouvements de la comète dans son orbe.



On tire de cette parallaxe la distance de la comète en cette manière. Que S représente le Soleil, acT le grand orbe, a le lieu de la Terre dans le temps de la première observation, cson lieu dans le temps de la troisième, T celui où elle se trouve dans le temps de la dernière, & T $\gamma$  la ligne droite tirée vers le commencement d'Aries. Soit pris l'angle  $\gamma TV$  égal à l'angle  $\gamma QF$ , c'est à dire à la longitude de la comète lorsque la Terre est en T. Soit de plus tirée ac prolongée en g, en sorte que  $ag/ac = AG/AC$  & g sera le lieu que la Terre aurait atteint au temps de la dernière observation par un mouvement continué uniformément dans la ligne droite ac. Donc si on tire la ligne g $\gamma$  parallèle à T $\gamma$ , & qu'on fasse l'angle  $\gamma gV$  égal à l'angle  $\gamma QG$ , cet angle  $\gamma gV$  sera égal à la longitude de la comète vue du lieu g ; & l'angle TVg sera la parallaxe qui vient de la translation de la Terre du lieu g au lieu T : & par conséquent V sera le lieu de la comète dans le plan de l'écliptique. Ce lieu V est ordinairement inférieur à l'orbe de Jupiter."

Newton énonce trois conclusions sous forme de corollaires :

Cor 1. Les comètes brillent parce qu'elle réfléchissent la lumière du Soleil.

Cor 2. On doit voir par ce qui a été dit, pourquoi les comètes s'approchent si fort du Soleil. Si elles étaient vues dans les régions beaucoup au delà de Saturne, elles devraient paraître plus souvent dans les parties du ciel opposées au Soleil ; & celles qui seraient placées dans ces parties du ciel seraient plus voisines de la Terre ; & le Soleil étant interposé obscurcirait les autres. Mais en parcourant l'histoire des comètes, j'ai

trouvé qu'on en a trouvé quatre ou cinq fois plus dans l'hémisphère qui est vers le Soleil que dans l'hémisphère opposé, outre beaucoup d'autres qu'il n'est pas douteux que les rayons du Soleil n'aient empêchés d'être visibles...

Cor 3. Il suit delà que les espaces célestes sont dénués de toute résistance car les comètes suivent des routes obliques et quelquefois contraires à celles des planètes, & elles se meuvent très-librement en tout sens, & conservent très longtemps leurs mouvements, même ceux qui se font contre l'ordre des signes."

Juste après ces corollaires, cette phrase significative : "Je me trompe beaucoup si les comètes ne sont pas des corps de même genre que les planètes, & si elles ne circulent pas perpétuellement dans un même orbe..." Autrement dit, ce sont des objets du système solaire et non des météores comme certains persistaient encore à le prétendre. Newton énonce donc :

PROPOSITION XL. THEOREME XX : Les comètes se meuvent dans des sections coniques dont le foyer est dans le centre du Soleil, & elles décrivent autour de cet astre des aires proportionnelles au temps.

Ce qu'il complète par quatre corollaires dont je ne citerai que les deux premiers :

"Cor 1. De là il suit, que si les comètes tournent dans des orbes, ces orbes sont des ellipses, & leurs temps périodiques doivent être aux temps périodiques des planètes en raison sesquiplée de leurs grands axes. Donc la plus grande partie des comètes faisant leur révolution dans des orbes qui renferment ceux des planètes, & qui sont par conséquent plus grands que les leurs, elles doivent se mouvoir plus lentement qu'elles : en sorte que si l'axe de l'orbe d'une comète est quatre fois plus grand que l'axe de l'orbe de Saturne, le temps de la révolution de la comète sera au temps de la révolution de Saturne, c'est à dire à 30 ans, comme 8 à 1, ainsi elle sera de 240 ans.

Cor 2. Les orbes des comètes approchent beaucoup de la parabole, en sorte qu'on peut, sans erreur sensible, les prendre pour des paraboles."

Bien sûr, Newton ne s'en tient pas à ces généralités. Il indique aussi les moyens de calculer l'orbite d'une comète à partir de quelques observations et c'est la méthode qui sera utilisée par Halley pour la comète de 1682. Nous devons donc y revenir. Pour cette fois, le lecteur voudra bien nous pardonner d'avoir aussi longuement laissé la parole à Newton lui-même ; il nous a semblé qu'à commenter le texte du grand savant, nous priverions du plaisir de le lire attentivement pour suivre mieux sa pensée.

(à suivre)

K.Mizar

\* \* \* \* \*

LES CAHIERS CLAIRAUT: Bulletin de liaison du CLEA

Directeur de la publication: L. Gouguenheim Université Paris Sud

Laboratoire d'Astronomie Bât. 470 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.470 91405 ORSAY CEDEX

Prix du numéro: 13f; abonnement annuel (4 numéros): 50f

Dépôt légal: 1er semestre 1979; Numéro d'inscription à la CPPAP: 61660

ATTENTION ! Notre adresse est légèrement modifiée: le bâtiment est désormais le n° 470.