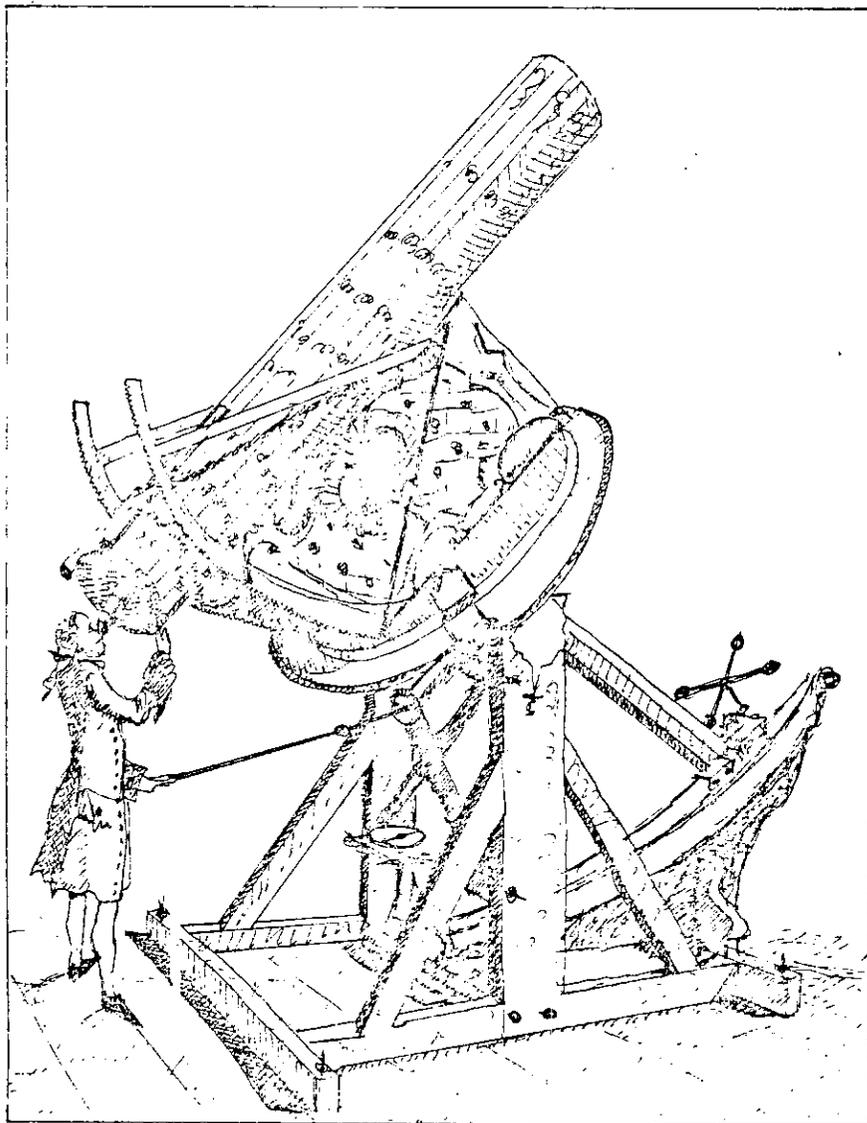


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n° 7 hiver 1979 - 1980

LES CAHIERS CLAIRAUT

n° 7 hiver 1979-1980

Un entretien avec A. BRAHIC sur Jupiter et ses satellites ainsi que sur la planétologie3
 Les Quasars.....14
 A propos du bleu du ciel -erratum.....19
 Interaction de la lumière avec la matière:le processus de diffusion..19
 Calcul du rayon terrestre.....27
 Exposition d'Astronomie à l'Université de Paris-Sud.....29
 Hélioscope simple.....30
 Toise à Soleil.....32
 Courrier des lecteurs.....33
 Pour votre documentation.....37
 Quelques perles.....40
 Lectures pour la Marquise et ses amis.....41
 Ecole d'été d'Astronomie 1980 à Grasse.....43
 Compte-rendu de l'école d'été 1978 à Digne.....43

EDITORIAL

Nous ne saurions manquer à la tradition en vous adressant nos vœux pour la réussite de vos projets astronomiques durant l'année 1980 .
 Dans ce numéro il nous a paru indispensable de faire de bilan des explorations spatiales planétaires réalisées en 1979 puisque 1980 nous apportera encore la surprise de nouvelles rencontres . Etant donné l'abondance de l'information dans ce domaine nous avons retardé jusqu'au prochain numéro l'ouverture d'une nouvelle rubrique consacrée à la description des constellations et à leurs légendes: c'est parfois un moyen commode pour s'y retrouver ...
 Nous avons ici encore fait une large place à vos expériences pédagogiques et nous souhaitons que votre courrier nous permette de garder cette rubrique vivante .

La Rédaction

~~~~~

DEMANDE D'ABONNEMENT OU DE REABONNEMENT ( 4 numéros par an )

Mr - Mme - Mlle - : .....

Adresse :.....

Si possible donner l'adresse de votre établissement scolaire afin de pouvoir bénéficier de la franchise postale , mais n'oubliez pas de nous signaler vos changements d'affectation .

Souhaite :

- s'abonner aux Cahiers Clairaut du numéro 1 au numéro 8
- s'abonner aux Cahiers Clairaut du numéro 5 au numéro 8
- se réabonner aux Cahiers Clairaut du numéro 5 au numéro 8
- ci-joint ma contribution financière : 15 F pour 4 numéros  
30 F pour 8 numéros

il est toujours possible de se procurer des numéros anciens au prix de 5 F l'unité .

Chèque à libeller à l'ordre de Mademoiselle L. GOUGUENHEIM CCP 20936-80V PARIS .

Remplir , cocher les cases correspondantes et renvoyer cette fiche à Madame F. DELMAS Institut d'Astrophysique 98 bis boulevard Arago 75014 PARIS

Un entretien avec André Brahic sur Jupiter et ses satellites ainsi que sur la planétologie

le cadre André Brahic vient de terminer son cours. Nous nous installons dans son petit bureau de l'Observatoire de Paris à Meudon : des dossiers par dizaines, des piles de livres ; au mur, des photos et des cartes du ciel, quelques affichettes rapportées des USA et dont le ton convient à l'hôte de ce bureau, telle celle-ci "No help wanted... we make enough mistakes on our own." On pourrait croire que règne ici un certain désordre. Non, rayons de livres et bureau bien rempli sont à l'image des journées d'André Brahic. Nous installons le magnétophone à 18 h, il tournera encore à 21 h 30. J'ai tenté, pour les lecteurs des C.C., de reproduire l'essentiel de cet entretien à bâtons rompus, riche de l'enthousiasme et de la science d'André. Le texte a été relu et corrigé par lui. Qu'il en soit remercié au nom de tous.

les circonstances L'Agence Spatiale Européenne (ASE ou, en anglais ESA) étudie divers projets. Le coût d'une expérience spatiale, un milliard de francs, ne représente pas, par habitant, une contribution excessive. Mais il faut choisir : ou bien apporter la contribution de l'ASE à des projets de la NASA ou bien réaliser des projets ASE proprement dits; ensuite choisir les missions, par exemple envoyer simultanément plusieurs sondes autour de la Terre pour faire un modèle plus précis de l'atmosphère et de la magnétosphère, envoyer un satellite autour de la Lune en survolant ses pôles pour détecter des éléments volatils éventuels et faire simultanément une bonne gravimétrie et une bonne analyse chimique de la Lune. Un projet ASE consiste à envoyer une sonde en direction des astéroïdes (grâce à une fusée Ariane), passer tout près de plusieurs d'entre eux, 3 ou 7 selon le jour de lancement, et découvrir ces objets qu'on ne peut résoudre depuis la Terre (diamètre apparent inférieur à 1").

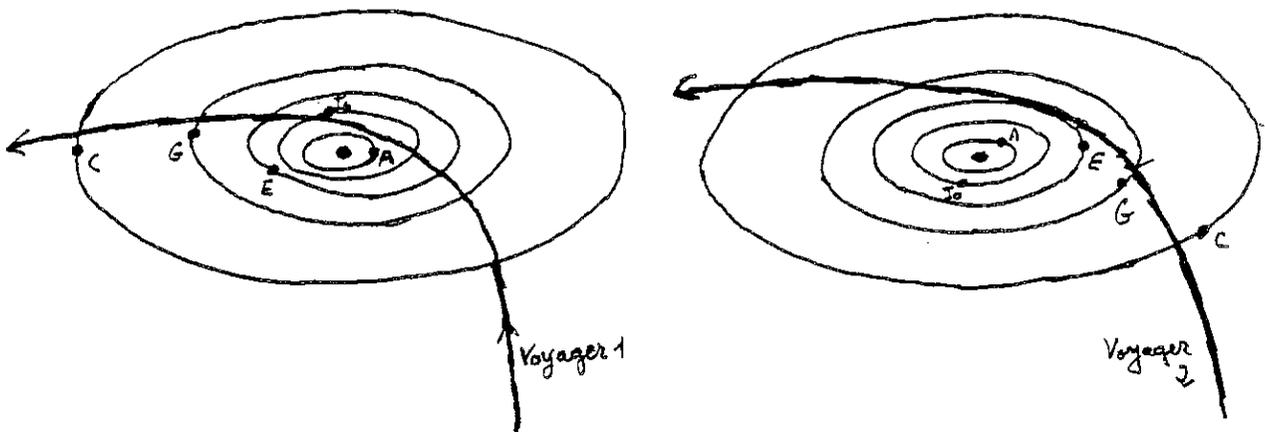
André Brahic étant rapporteur de ce projet fut envoyé par l'ASE à un colloque sur les astéroïdes, en Californie, le 5 mars 1979. C'était justement à cette date que la sonde Voyager 1, envoyée vers Jupiter à la fin de l'été 1977, arrivait à destination et envoyait photos et mesures vers le Jet Propulsion Laboratory de Pasadena. Brahic eut le chance de suivre avec les astronomes américains cet extraordinaire

afflux d'informations qu'il faudra des années de travail pour interpréter complètement. D'autant qu'une deuxième sonde Voyager 2 vint confirmer et compléter les découvertes de Voyager 1, quatre mois plus tard, la comparaison des données recueillies dans les deux cas étant également instructive.

les sondes et l'imagerie

Les sondes Voyager avaient des missions multiples ; prendre des photos mais aussi de nombreuses mesures. Ces dernières, à certains égards et en particulier pour beaucoup d'Astrophysiciens, sont l'essentiel. Prendre des photos et les transmettre exige un lourd appareillage qui limite en conséquence les instruments de mesure embarqués sur le satellite. La réalisation de l'imagerie a pourtant une grande importance : pour le grand public qui finance les réalisations de la NASA par ses impôts, elle est facilement compréhensible ; pour les astronomes, théoriciens compris, les images donnent une vision globale des objets qui est instructive. C'est grâce aux images que fut découvert l'anneau...

Un coup d'oeil sur les trajectoires. Celle de Voyager 1 était la plus hasardeuse, passant entre Jupiter et l'orbite de Io, dans la zone où les radiations sont les plus intenses. Voyager 1 frôla Jupiter à la distance minima de 280 000 km (rayon de Jupiter 71 400 km ; demi grands axes des orbites d'Amalthée 180 000 km, de Io 422 000 km). Auparavant il avait pu photographier Amalthée ; avant de s'éloigner vers Saturne (rendez-vous le 13 novembre 1980), il photographia de près Io, de plus loin Europe, de plus près Ganymède et Callisto.



La trajectoire de Voyager 2 lui a permis de frôler Callisto, puis Ganymède et Europe, de photographier de plus loin Io et Amalthée avant de survoler Jupiter de 645 000 km pour se diriger enfin vers Saturne (rendez-vous le 27 août 1981) puis vers Uranus (le 30 janvier 1986). Il put ainsi photographier les satellites (qui, comme la Lune vis à vis de la Terre, tournent toujours la même face vers Jupiter) et réaliser une couverture presque complète (90%) pour certains d'entre eux.

Les deux missions étaient donc complémentaires, les sondes traversant le système jovien sous des angles différents. Les deux satellites disparurent durant deux heures environ derrière la planète, hors de vue du Soleil et de la Terre ; ils purent ainsi prendre des mesures et quelques photos du côté sombre de la planète (la nuit sur Jupiter).

Chaque sonde a pris environ 20 000 photos au moment de la rencontre. Chaque photo est tramée par une fine maille de 500 lignes de 500 points ; sur chacun des 250 000 points, 64 niveaux d'intégration photométrique sont transmis par 8 bits soit 2 mégabits par image ; des photos prises avec filtre rouge, bleu ou vert permettent d'obtenir des images en couleurs. La transmission de la sonde au JPL de Pasadena exigeait 38 mn en mars (Jupiter avait été en opposition le 24 janvier), 52 minutes en juillet. Les données, emmagasinées au JPL et dépouillées par des équipes sélectionnées par la NASA qui en conservent l'exclusivité pendant environ huit mois, sont mises à la disposition des chercheurs qui, grâce à un code, peuvent recevoir sur des écrans les images ou les données désirées.

Pour André Brahic, le souvenir de ces journées de mars 79 au JPL de Pasadena est exaltant : s'être trouvé au milieu des astronomes concernés par ces recherches alors que chaque jour apportait de nouvelles découvertes. L'effet global de tous ces résultats est impressionnant. Les avoir vus s'accumuler au fil des heures représente pour Brahic et tous ceux qui l'ont vécue une expérience unique...

les sondes et les mesures Les mesures prises par les Voyager sont plus difficiles à vulgariser. Citons seulement quelques exemples. En infra-rouge, des mesures de température et de densité à la surface de Jupiter ont augmenté considérablement

en précision nos connaissances antérieures. L'étude des spectres (plus de 30 000 ont été enregistrés) fournira des renseignements précieux sur la composition de l'atmosphère. Affiner nos connaissances sur le rapport hydrogène-hélium permettrait de s'assurer si la composition de Jupiter est ou n'est pas primitive. Si, comme on le pense actuellement, elle l'est, alors elle représente la composition du système solaire à l'époque de sa formation ; on comprend l'intérêt cosmologique du problème.

Des meilleures mesures de la masse de Jupiter ont été effectuées. D'où de meilleures idées sur la composition interne de la planète et, par ailleurs, un perfectionnement des calculs en mécanique céleste.

Voici la liste des recherches ou expériences "embarquées" sur les Voyager, en plus de la caméra photographique : 1) étude des radiations infra-rouge, (composition des atmosphères, propriétés thermiques) ; 2) Photopolarimétrie (aérosols atmosphériques) ; 3) propagation radio (structure ionosphérique) ; 4) spectroscopie en ultra-violet (composition de la haute atmosphère, aurores boréales) ; 5) champs magnétiques ; 6) plasma et particules ; 7) radioastronomie planétaire ; 8) particules chargées basse énergie ; 9) rayons cosmiques.

Sans pouvoir insister ici sur ces mesures (des résultats ont déjà été publiés dans un numéro spécial de la revue américaine Science, le 1er juin 79 et bien d'autres suivront), il ne faut pas en sous estimer l'importance sous le pré-texte que l'imagerie a un effet immédiatement publicitaire (influence sur le Sénat américain dispensateur des crédits, succès auprès du grand public avide de comprendre un peu ce que font les chercheurs).

les étapes de l'exploration spatiale Le programme de l'exploration spatiale comporte toujours les phases suivantes :

- 1) survol rapide de l'objet à explorer ;
- 2) rendez-vous plus prolongé ; par exemple mise en orbite autour de l'objet ;
- 3) se poser sur l'objet ;
- 4) rapporter des échantillons prélevés sur l'objet.

Rappelons que pour la Lune, les quatre phases ont été

réalisées successivement en moins de dix ans.

Mercurure a été survolée ; on a photographié un sol mouvementé avec de très nombreux impacts de projectiles comme sur la Lune. Sur Vénus deux sondes se sont posées et ont pris des photos et des mesures pendant les 90 minutes durant lesquelles elles ont pu résister aux conditions ambiantes.

Sur Mars, les sondes Viking se sont posées, ont gratté le sol, n'ont pas trouvé trace de vie ; toutes les expériences ont bien fonctionné sauf l'un des deux séismomètres (et il en faut deux pour localiser les séismes - il est vrai que ceux-ci sont rares sur Mars dont la croûte est très épaisse.

Avec l'exploration de Jupiter et des autres grosses planètes, on passe à des conditions très différentes : pas de sol solide, un système de nombreux satellites, la taille de certains ce ceux-ci étant voisine de celle des planètes telluriques (Titan est plus gros que Mars, Io est de la taille de la Lune). La distinction entre planète et satellite, quant à la taille et à la physique des objets, n'est plus significative.

de Pioneer à Voyager La sonde Pioneer 11 qui a pris en septembre 1979 d'admirables photos des anneaux de Saturne avait survolé Jupiter en 1974 ; Pioneer 10 en 73. Expéditions de pionniers (d'où leur nom) avec des sondes beaucoup plus simples (200 kg au lieu de 800) qui n'étaient pas stabilisées : tournant sur elles-mêmes alors qu'elles défilaient devant la planète à des vitesses de l'ordre de 20 km/s, les photos étaient obtenues par balayages successifs et les images reconstituées restaient floues. Le gain dans la résolution était pourtant déjà appréciable : alors que de la Terre les plus petits détails visibles sur Jupiter sont de l'ordre de 1000 km, avec Pioneer on gagnait un facteur 10 ; des objets de 200 à 100 km devenaient visibles, des turbulences dans l'atmosphère de Jupiter avaient pu être mises en évidence.

Les sondes Voyager sont stabilisées par rapport à trois axes, l'orientation permanente du satellite étant obtenue par repérage sur une étoile (dans le cas où l'étoile repère lui échapperait, un téléguidage à partir de la Terre lui permet de la retrouver). Les photos obtenues sont nettes et révèlent des détails de l'ordre du kilomètre (100 fois plus de détails

cu'avec Pioneer. On peut dire que les photos prises par Voyager nous donnent pour Jupiter ce que nos télescopes terrestres nous donnent pour la Lune. Pour les satellites galiléens, les télescopes terrestres ne permettaient de distinguer aucun détail (diamètre apparent inférieur à 1" et turbulence de notre atmosphère) ; les meilleurs observateurs distinguaient tout juste quelques différences d'albedo d'un satellite à l'autre. Quant aux petits satellites de Jupiter se pose la question de leur nombre : Leda et XIV découverts par C. Kowal en 1974 et 75 ! ["La question de savoir combien Jupiter possède de lunes est peut-être une simple question de sémantique" écrivait A. Brahic dans le tome 2 de l'Encyclopédie Scientifique de l'Univers , car la planète est probablement entourée de rochers de toutes tailles et de poussières.]

Voyager d'approche Suivons donc les images obtenues par les Voyager au cours de leurs périples. Une des premières photos a été prise le 18 septembre 1977 ; Voyager 1 était à 11,66 millions de km de la Terre ; il voyait simultanément un croissant de Terre et un croissant de Lune. Document saisissant ; avant notre époque, personne n'avait eu la vision de ces deux petites boules dont l'une, sous nos pieds, est si importante pour nous. D'un autre point de vue, le système Terre-Lune apparaît ainsi plus comme une planète double que comme une planète et un satellite (pour les grosses planètes, les satellites sont relativement beaucoup plus petits). Nous reviendrons plus loin sur cette remarque à propos de planétologie comparée.

Voyager 1 continue son périple ; le 9 janvier 1979, il est à 54 millions de km de Jupiter ; les photos révèlent nettement des turbulences autour de la tache rouge. Le 17 janvier, il s'est encore rapproché (il parcourt plus d'un million de km par jour) ; sur une photo, on voit Europe et Ganymède à côté de Jupiter ; sur Europe, une bande équatoriale sombre apparaît. Sur la photo prise le 5 février, à 28,4 millions de km de la planète, trois satellites sont visibles : Io sur le disque de Jupiter (on peut comparer son diamètre, un peu supérieur à celui de la Lune, à celui de la

tache rouge qui, lui est très supérieur à celui de la Terre), Europe, très brillant mais avec des taches sombres et Callisto deux fois plus brillant que notre Lune mais qui ici paraît pourtant sombre.

Le 13 février Voyager 1 n'est plus qu'à 20 millions de km ; il photographie Io de couleur rougeâtre qui se détache sur la tache rouge tandis que Europe se détache sur une région de nuages turbulents. Le 4 mars, à 1,8 million de km, une photo montre des nuages qui ont quelques km de large.

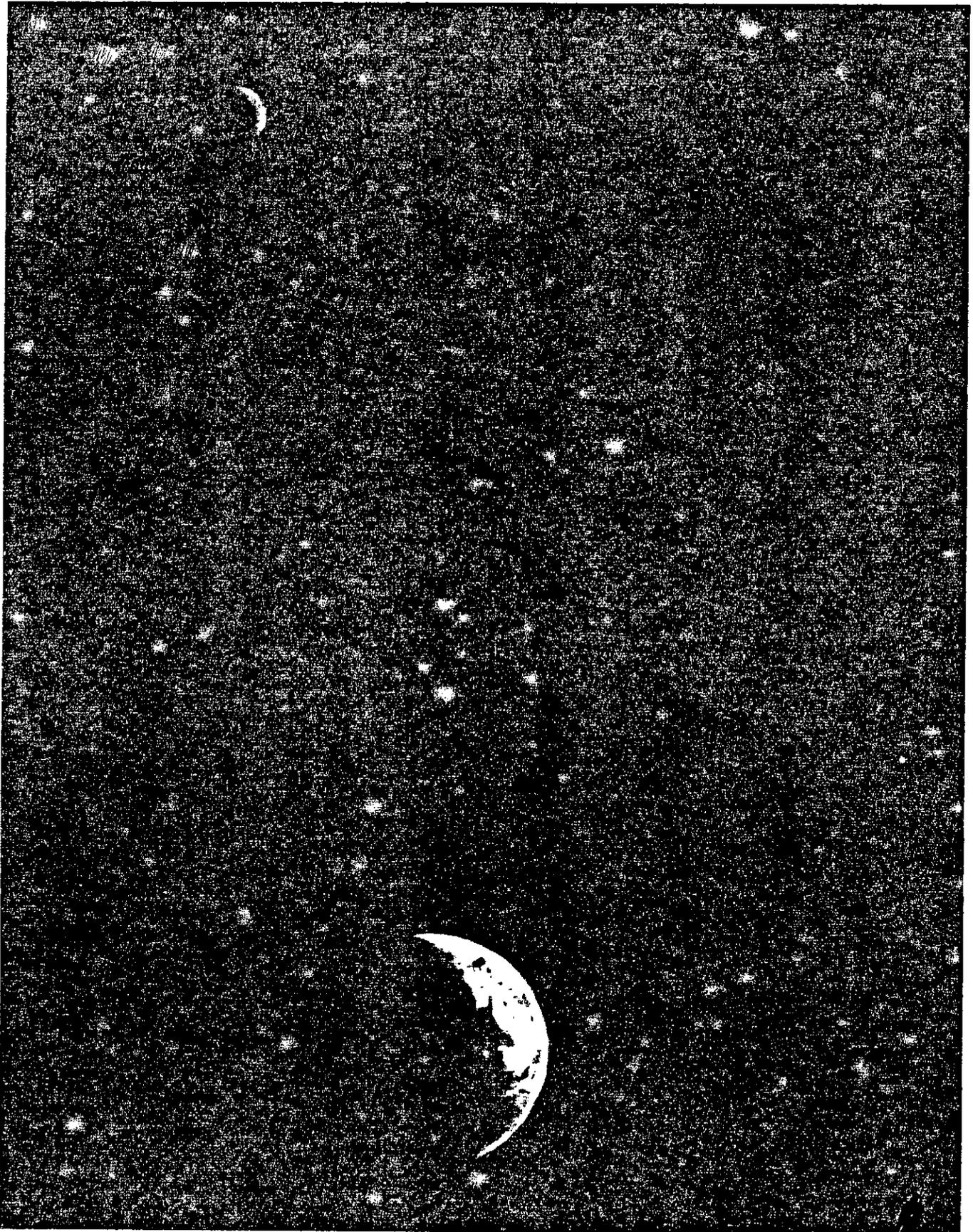
La comparaison avec les photos prises par Voyager 2 sera très instructive sur l'évolution de ces formes. La tache rouge apparaît comme un énorme tourbillon (un film réalisé par la NASA par montage d'images successives, fait apparaître cette rotation et l'agitation des régions voisines). Une question se pose : le diamètre de la tache paraît décroître mais comment un tel énorme tourbillon a-t-il pu ainsi persister pendant plus de cent ans ? [ selon Pannekoek (p.382), il aurait été noté et dessiné depuis 1831 et serait devenu de moins en moins rouge. ]

La mission de Voyager 1 pouvait être considérée alors comme terminée et comme parfaitement réussie. Les grandes surprises étaient pourtant encore à venir...

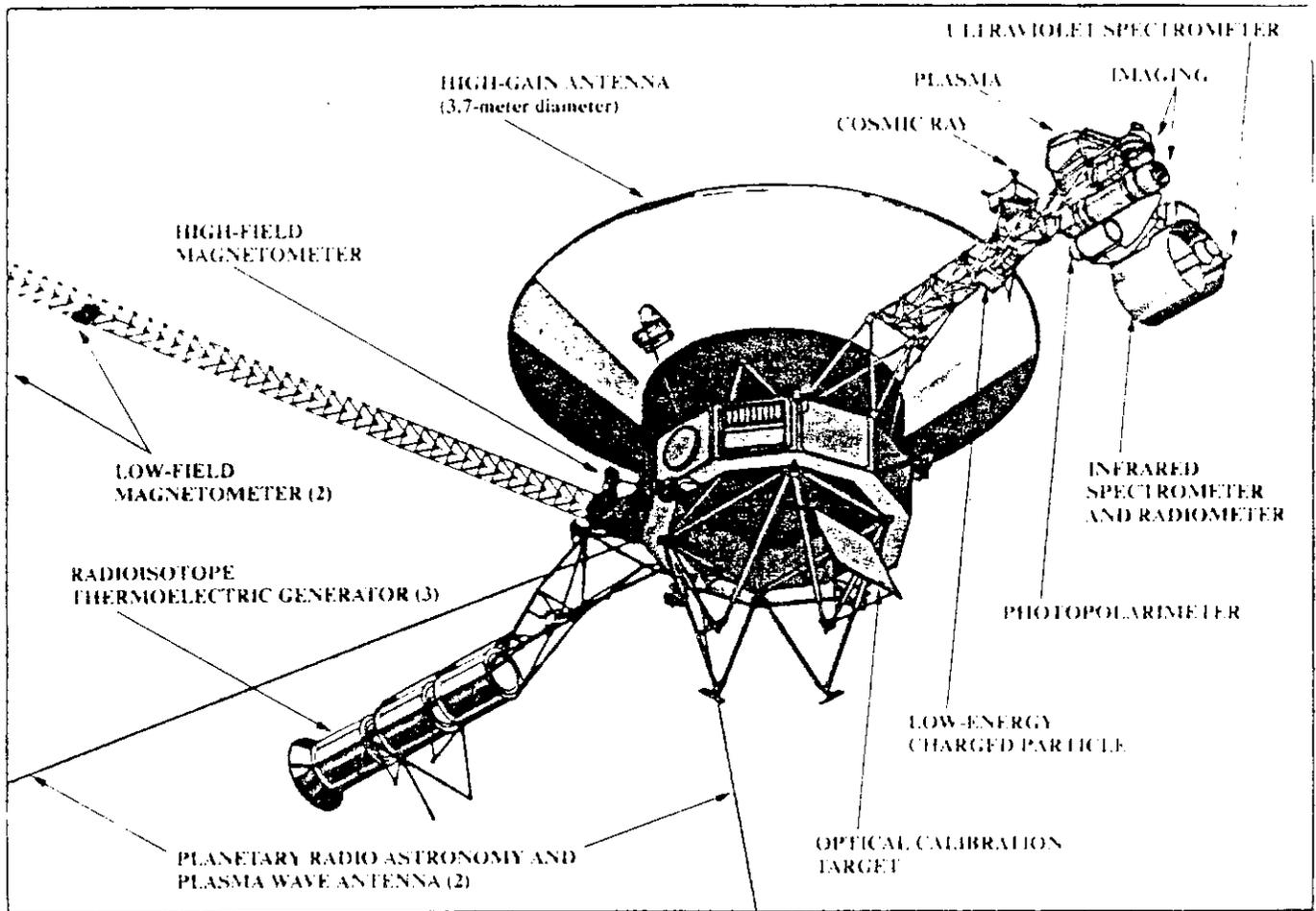
(La suite de l'entretien dans notre prochain numéro)  
rédaction G.W.

P.-S. Illustrer l'exposé d'André Brahic nous a paru indispensable. Malheureusement, nos moyens d'impression sont limités ; les admirables documents de la NASA ont souffert de la reproduction. Nos lecteurs voudront bien nous en excuser.

- [1] La Terre et la Lune vues de Voyager 1 le 770918 ; le satellite se trouvait alors à 11,66 millions de km de nous.
- [2] Schéma d'une sonde Voyager ; à droite la camera (imaging).
- [3] Photo prise par Voyager 1, le 790124, à 40 millions de km de la planète. Comparez avec la suivante...
- [4] prise le 790509 par Voyager 2, à 28,7 millions de km de Jupiter.
- [5] Le 790205, Voyager 1 est à 28,4 millions de km de Jupiter ; sur l'original on voit trois satellites ; ici on aperçoit Io sur la planète et, à droite Europe ; Ganymède n'apparaît pas sur cette reproduction.



[1]



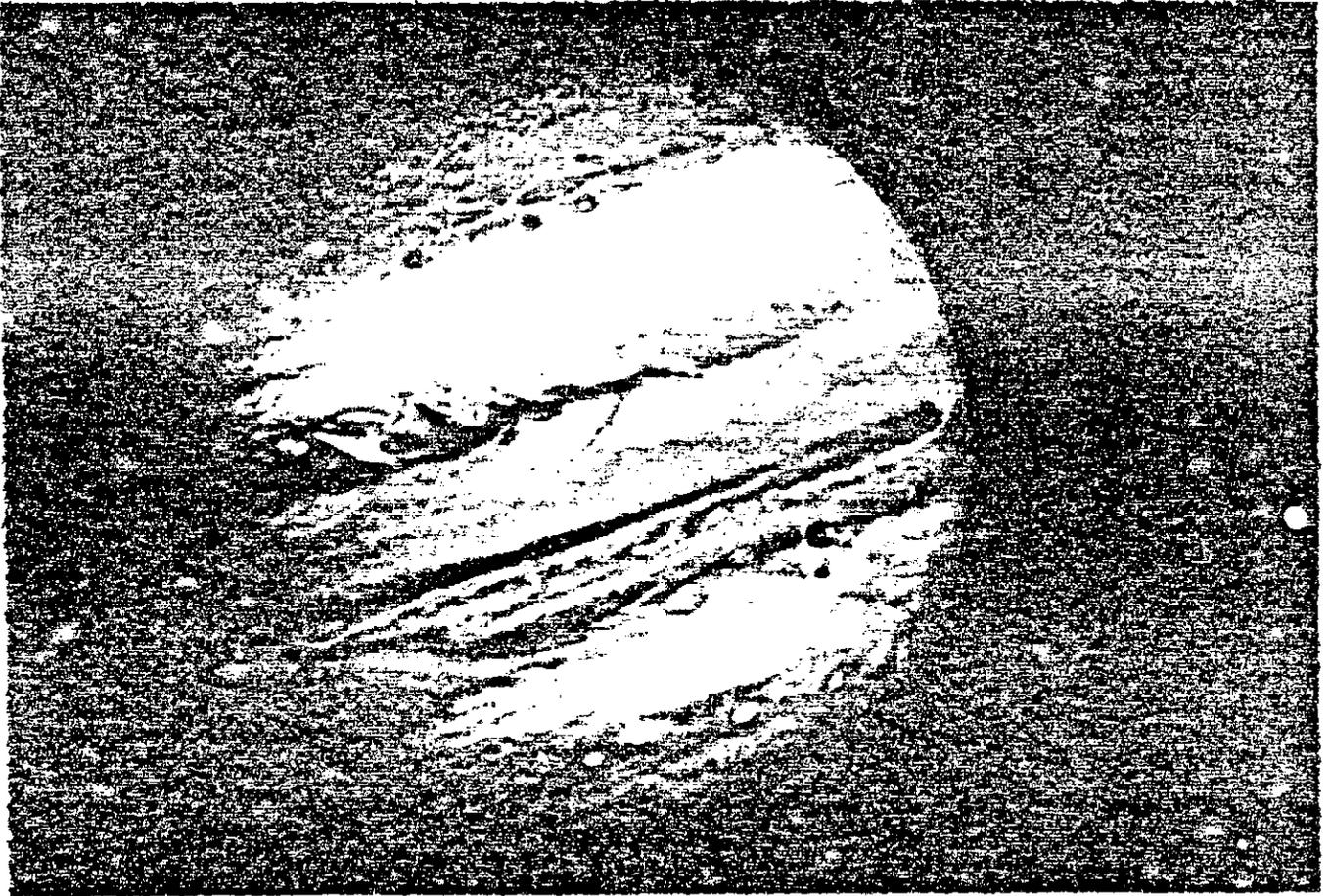
[ 2 ]



[ 3 ]



[ 4 ]



[5]



[6]



[7]

[6] et [7] Photos de la tache rouge prises respectivement par Voyager 1 le 790225 et par Voyager 2 le 790703. La première, de 9,2 millions de km, la seconde de 6 millions de km. Même sur ces reproductions en noir et blanc, on remarque, à quelques mois d'intervalle, d'importants changements dans les structures nuageuses turbulentes qui entourent la tache rouge.

## LES QUASARS

Depuis leur découverte, les quasars alimentent une abondante littérature, aussi bien dans les colonnes des journaux de "vulgarisation", que dans les revues spécialisées les plus abstraites. C'est que ces objets, qui semblent défier l'imagination et être plus proches de la science fiction que de la science véritable, fournissent presque chaque année une moisson d'observations plus inattendues que les précédentes.

Leur découverte se situait en 1963, lorsque deux astronomes du "Caltech" (le "California Institute of Technology", qui possédait à cette époque le plus grand télescope du monde, le " 5 mètres du Mont Palomar ", maintenant dépassé par un " 6 mètres " soviétique), réussirent à identifier dans le domaine visible deux sources relativement puissantes observées par les astronomes de Cambridge (Angleterre) dans le domaine radio. A l'emplacement de ces sources, on distingue deux objets faibles, très bleus, d'aspect stellaire. Les spectres de ces objets, immédiatement obtenus à Palomar, semblèrent tout à fait incompréhensibles de prime abord : ils présentent de larges "raies" qui ne sont pas en absorption comme dans la plupart des étoiles, mais en émission (c'est à dire que les raies sont plus brillantes que le continu environnant, au lieu d'être plus sombres); et surtout les longueurs d'onde de ces raies ne correspondent à aucun élément connu au laboratoire. Les deux astronomes américains réalisèrent alors qu'il s'agissait de raies souvent observées dans les spectres des nébuleuses planétaires, mais décalées vers les grandes longueurs d'onde, de 16% en ce qui concerne l'objet le plus brillant, 3C273, de 37% pour l'autre, 3C48.

Que signifie un tel décalage ? Dans le cadre des théories physiques connues, trois explications possibles se présentent.

La première est celle d'un "décalage gravitationnel", due à la présence d'une masse extrêmement compacte. Elle peut être éliminée d'emblée, <sup>(1)</sup> car ce décalage donnerait lieu à un élargissement considérable des raies, qui n'est pas observé.

Une deuxième explication invoque tout simplement l'effet Doppler-Fizeau : lorsqu'une source de rayonnement est animée d'une vitesse importante par rapport à un observateur, celui-ci voit une lumière de longueur d'onde plus grande que celle qui est émise ("décalage vers le rouge") si la source s'éloigne de lui, et plus faible si elle s'en rapproche. Cette hypothèse était plausible à l'époque, mais il fut immédiatement évident - par exemple sur la base d'absence de mouvements propres - que les deux sources étaient fort éloignées et par conséquent devaient avoir un éclat intrinsèque considérable. Or une grande luminosité implique une grande masse, et par conséquent une gigantesque source d'énergie est nécessaire pour expulser des corps, dont la masse est largement supérieure à celle d'une étoile, avec des vitesses qui avoisinent celles de la lumière : en effet le décalage observé correspond pour 3C273, à une vitesse de 50000 km/s et pour 3C48, à près de 100000 km/s ! Malgré cela, cette hypothèse fut envisagée sérieusement par quelques astronomes pendant 2 ou 3 ans, mais elle dut finalement

---

Note(1) : Bien qu'en fait il existe une masse compacte dans les quasars, comme on le verra plus loin, mais elle n'affecte pas le gaz qui émet les "raies", car il en est trop éloigné.

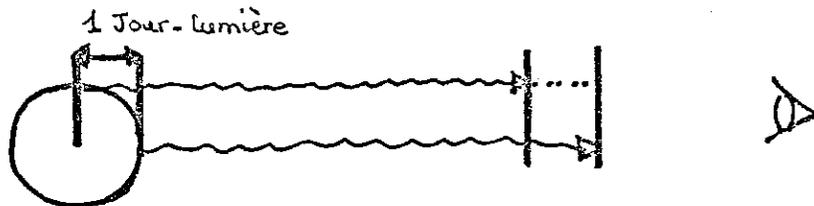
être écartée, lorsqu'un grand nombre d'autres "quasars" - puisque c'est le nom qu'on leur a donné par abréviation de "quasi-stellar sources" - furent découverts. Or aucun ne montre un décalage vers le bleu, ce qui signifie que tous les quasars s'éloignent de nous. Dès lors, comment admettre ce fait, sans supposer que nous occupions une position tout à fait privilégiée dans l'Univers, et que seul dans son genre, notre environnement immédiat a été l'objet d'une explosion donnant naissance à ces "super étoiles" ?

Reste alors la troisième explication : les quasars sont des objets très éloignés, participant comme les galaxies à l'expansion de l'Univers, ce qui entraîne un décalage spectral vers les grandes longueurs d'onde. Conformément à la loi de Hubble, leur distance, calculée d'après leur décalage, est alors reportée à plusieurs milliards d'années-lumière.

Mais cette hypothèse n'est pas sans quelques conséquences assez surprenantes. La première est que leur éclat intrinsèque est alors gigantesque : 1000 fois celui de notre Galaxie toute entière pour 3C273, 100000 fois pour certains autres quasars. La seconde, plus étrange encore, est que ce rayonnement est émis par un objet relativement petit puisque leur apparence d'étoiles sur les plaques photographiques leur confère des diamètres inférieurs à une seconde d'arc environ, soit quelques milliers d'années-lumière (rappelons le diamètre de notre Galaxie : 60000 années-lumière).

En fait, le diamètre de ces objets est bien plus faible. Actuellement, on n'en connaît qu'une limite supérieure, et cette limite est d'une année-lumière pour la plupart des quasars; dans le cas des "Lacertides", découverts un peu plus tard, qui se distinguent des quasars seulement par quelques points de détail (leurs spectres ne montrent pas de raies brillantes, entre autre), mais qui sont aussi lumineux, les dimensions sont inférieures au diamètre du système solaire ( $10^{15}$  cm).

Comment peut-on avoir une telle certitude ? Simplement d'après l'observation des variations d'éclat de ces objets. En effet, lorsque des variations importantes (augmentation ou diminution par un facteur 2 au moins) sont observées dans un temps T - une journée, une année - cela signifie que le diamètre de la source émettant le rayonnement est inférieur à  $c \times T$  - un jour-lumière, une année-lumière - c étant la vitesse de la lumière. Le petit schéma suivant permet d'en comprendre la raison.



Si un objet sphérique - la forme importe peu - de rayon un jour-lumière - subit une augmentation de brillance de surface en tous ses points au même moment (cas le plus favorable), un observateur verra cette augmentation "diluée" sur une journée, par suite des différences de trajets des photons émis par le bord et par le centre de l'objet. A moins donc d'imaginer une structure tout à fait improbable, où tous les points de l'objet seraient exactement à la même distance de l'observateur (donc située sur une sphère centrée sur l'observateur), l'échelle de temps des variations donne une limite supérieure de sa dimension. A cet argument, on objecte parfois qu'on peut imaginer des objets qui "s'allumeraient" ou "s'éteindraient", à la surface d'un objet bien plus grand - le quasar lui-même. Certes oui, mais le problème énergétique posé n'en n'est pas modifié : un corps de dimension inférieure à celle du système solaire ( $10^{15}$  cm), émet une énergie

lumineuse de  $10^{46}$  ergs/s ( $10^{39}$  W), soit la puissance de 10000 milliards de soleil ! Et ceci, sans préjuger des autres formes d'énergie qui échappent pour le moment à la détection : particules rapides, neutrinos, et même simplement rayonnement X ou gamma. On vient de découvrir qu'une galaxie de Seyfert (les galaxies de Seyfert sont des objets très semblables aux quasars, mais moins lumineux en moyenne), NGC4151, émet environ 100 fois plus d'énergie dans le domaine gamma que dans le visible.

Alors, comment expliquer les quasars ? Quels sont leurs liens avec les objets astrophysiques connus ? Quel est le moteur qui alimente cette source d'énergie gigantesque dans un volume si petit ?

Pour répondre à la première question, il faut connaître un certain nombre de faits dont on prit conscience entre 1965 et 1975 environ.

1/ Il existe, parmi les galaxies, quelques galaxies dont le noyau est dit "actif", (environ 2%). Ce sont les galaxies de Seyfert déjà mentionnées. Elles ont été découvertes en 1943 par un étudiant allemand, K. Seyfert, travaillant au Mont Palomar. Mais ce n'est que dans les années 70 qu'on a réalisé leur importance, liée à leur ressemblance surprenante avec les quasars.

Les galaxies de Seyfert présentent un noyau brillant dont l'éclat est égal, ou même supérieur, à celui de la galaxie toute entière. Ce noyau a des propriétés identiques à celles des quasars : dans le domaine visible, le spectre continu a la même forme (en loi de puissance, caractéristique du rayonnement synchrotron), il présente d'intenses raies, larges, en émission; les mêmes types de rayonnements infrarouge, ultraviolet, X, que dans les quasars sont observés, avec la même variabilité, etc... Seule leur luminosité diffère : elle est généralement inférieure par un facteur 100 à la moyenne des quasars. Cependant, quelques galaxies de Seyfert ont des luminosités très grandes, et rien ne permet alors de les distinguer d'un quasar, si ce n'est leur proximité, qui permet d'observer la galaxie entourant le noyau.

2/ Précisément, dans le cas des quasars les plus proches, on a recherché avec succès un halo entourant le noyau brillant. Bien que dans ce cas, l'éloignement empêche d'en étudier la structure, les propriétés de ce halo (dimension, spectre continu et raies en absorption provenant d'étoiles relativement froides) laissent à penser qu'il s'agit bien de galaxies.

3/ Les propriétés radio d'un certain nombre de quasars, les apparentent aux "radio galaxies", c'est à dire aux galaxies qui émettent un puissant rayonnement radio. En effet, comme pour les radio galaxies, la structure des radio sources associées est double, s'étendant symétriquement de part et d'autre de l'objet central - quasar ou radio galaxie - jusqu'à des centaines de milliers d'années-lumière.

Il est donc clair que les quasars sont simplement des galaxies dont le noyau traverse une phase d'activité intense, qui se manifeste par des éjections de gaz (d'où les raies élargies par effet Doppler), par l'émission d'un rayonnement synchrotron intense jusque dans le domaine optique, provenant d'électrons ultrarelativistes accélérés dans un champ magnétique, par la présence également d'un gaz très chaud (10 milliards de degrés) plongé dans un champ magnétique, produisant l'émission X, etc, etc... Il est impossible malheureusement de détailler ici les propriétés des quasars et des noyaux de galaxies de Seyfert.

Pour autant, cependant, la seconde question n'est pas résolue, car il reste à comprendre pourquoi et comment les noyaux de galaxies peuvent, dans certains cas, émettre une telle quantité d'énergie, provenant d'un volume très petit.

Une première estimation, fondamentale, est celle de la durée de vie des quasars. Pour ceux qui sont associés à des sources radio, le

calcul est simple. Le rayonnement radio est émis par des électrons relativistes spiralant dans un champ magnétique. La vitesse avec laquelle les électrons "diffusent" dans le milieu intergalactique est probablement voisine de  $c/10$  (les vitesses "réelles" de ces électrons sont, elles, pratiquement égales à  $c$ ). Or, ces électrons proviennent du quasar lui-même : on en a de multiples preuves, qu'il serait trop long d'énumérer. Comme ils ont eu le temps de s'éloigner de leur source d'environ un million d'années-lumière, c'est que le quasar les a produit il y a environ 10 millions d'années. C'est donc sa durée de vie minimale.

Pendant ce temps, le quasar a rayonné, en moyenne,  $10^{47}$  ergs/s, donc au total  $3 \cdot 10^{66}$  ergs. Ce rayonnement provient de la transformation d'une certaine masse en énergie. Le rendement du processus le plus efficace pour convertir la masse en énergie<sup>(2)</sup>, dont on parlera plus loin, est d'environ 10%. Donc  $Mc^2/10 = 10^{66}$ , ce qui donne  $M = 10^{40}$  grammes, ou  $10 M_{\odot}$  environ. Voici donc la masse minimum d'un quasar moyen.

Dans les noyaux des galaxies de Seyfert les plus proches, on détecte - par son effet dynamique - la présence d'un amas de plusieurs milliards d'étoiles à l'intérieur d'un rayon de quelques centaines d'années-lumière (comparons cette densité à celle du voisinage solaire, où l'on rencontre environ une étoile toutes les 10 années-lumière!). Et dans notre propre Galaxie, dont le noyau est pourtant loin d'être "actif", il existe environ un million d'étoiles dans un rayon de 3 années-lumière.

Quelles est la concentration atteinte au centre du noyau ? On l'ignore, et on l'ignorera longtemps car la résolution spatiale des observations est très limitée. Mais il est certain qu'elle croit bien au-delà de cette limite observationnelle de  $10^6$  étoiles par années-lumière cube.

Partant alors du fait que le volume de l'objet est au plus  $(10^{15})^3$  cm<sup>3</sup>, on suppose que les  $10^8 M_{\odot}$  sont entièrement contenues dans ce volume, ce qui n'est pas prouvé mais est d'autant plus probable que le modèle qui en découle est entièrement consistant et fournit la meilleure explication aux phénomènes observés. Or, une masse de  $10^8 M_{\odot}$  possède un "rayon de Schwarzschild" de  $3 \cdot 10^{13}$  cm. C'est la valeur du rayon au-dessous de laquelle le champ gravitationnel de l'objet est si intense que les rayons lumineux ne peuvent s'en échapper, ou encore c'est le rayon correspondant à une vitesse de libération de 300000 km/s. En d'autres termes, l'objet est alors un "trou noir", concept certainement familier à la plupart des lecteurs de cet article. Mais c'est un "trou noir supermassif", par comparaison avec les trous noirs de quelques masses solaires qui représentent vraisemblablement le terme ultime de la vie des étoiles massives. On constate donc que le rayon d'un trou noir de  $10^8 M_{\odot}$  est voisin de la limite de  $10^{15}$  cm déduite de la variabilité des sources. Notons aussi qu'un trou noir de  $10^9 M_{\odot}$  aurait un rayon de  $3 \cdot 10^{14}$  cm, car le rayon est proportionnel à la masse.

Or les propriétés d'un trou noir supermassif, situé au centre d'un amas très dense d'étoiles, sont tout à fait particulières. D'abord, les étoiles ne peuvent survivre car elles sont disloquées par un effet de marée dû à l'énorme gradient du potentiel gravitationnel du trou noir. Elles donnent naissance à un gaz très chaud qui sera "avalé" par le trou noir, après avoir rayonné 10% ou 20% de son énergie de masse sous forme de rayons X, par effet synchro-cyclotron. C'est le rayonnement X observé, qui représente parfois jusqu'à 99% de l'énergie électromagnétique rayonnée par le noyau de galaxie.

---

(2) : plus efficace que les réactions nucléaires dont le rendement n'est que de 0,1 à 1%.

Ce rayonnement est la source d'une énorme pression de radiation qui entraîne l'expulsion de bouffées de gaz chaud : c'est le gaz qui produit les raies en émission larges.

Dans la direction de l'axe de rotation du système sont éjectées des particules relativistes qui sont à l'origine des radio sources doubles.

Ainsi peut-on rendre compte de la plupart des phénomènes observés.

Par ailleurs, la masse du trou noir augmente au cours du temps par absorption de gaz. On peut imaginer qu'une seule étoile, de  $10 M_{\odot}$ , est à l'origine du trou noir supermassif. Le calcul montre que dans un amas dense d'étoiles, ce trou noir mettra  $10^9$  ans à atteindre la masse de  $3 \cdot 10^8 M_{\odot}$ . Sa luminosité augmente aussi au cours du temps, jusqu'à atteindre  $3 \cdot 10^{46}$  ergs/s pour cette masse.

Au-delà de cette masse, l'évolution du trou noir dépend essentiellement de la densité d'étoiles qui l'environnent. Généralement, sa croissance va se ralentir, par suite de la diminution du nombre d'étoiles dont un bon nombre ont déjà été "avalées". Mais d'autre part, le rendement du processus, qui était voisin de 10%, diminue considérablement. En effet, lorsque la masse du trou noir dépasse  $3 \cdot 10^8 M_{\odot}$ , les étoiles sont "avalées" sans être préalablement disloquées, car le rayon du trou noir est supérieur à celui qui est nécessaire pour produire l'effet de marée. En étant ainsi avalées en bloc, elles ne rayonnent plus car seul un gaz est capable de perdre une partie appréciable de son énergie sous forme de rayonnement. Les seules sources de gaz sont les collisions entre les étoiles, dont le taux dépend fortement de la densité en étoiles.

Bref, on prévoit généralement, qu'au-dessus de  $10^9 M_{\odot}$ , le trou noir deviendra une sorte de masse "morte", perceptible seulement par l'énorme champ de gravité qu'il creuse au centre du noyau. C'est bien ce qu'il semble avoir été observé récemment au centre de la galaxie Virgo A, la galaxie la plus lumineuse de l'amas de la Vierge, dont le noyau a des propriétés très proches de celles des quasars.

Cette théorie, très attrayante, semble donc confirmée par un faisceau d'observations. Cependant, c'est loin d'être la seule théorie proposée pour les quasars. Avant tout, elle fait appel à un concept dont aucune preuve directe n'a encore définitivement confirmé l'existence, le "trou noir". Ensuite, elle ne rend pas compte, au moins dans l'état actuel de son développement, d'un certain nombre de faits observationnels. Cependant, c'est, parmi les différentes théories proposées, de loin la plus consistante et la plus "naturelle" dans le contexte des galaxies.

S. COLLIN-SOUFFRIN

\* \* \* \* \*

A PROPOS DU BLEU DU CIEL

*Erratum : Nous vous demandons de bien vouloir ajouter à la lecture de l'introduction de l'article de L. Celnikier et de B. Leroy, "A propos d'une conception étrange du bleu du ciel" (Cahier Clairaut n°4) le paragraphe ci-après :*

*"Nous y apprenons que l'azur est dû à la diffusion de la lumière solaire par les particules de l'atmosphère terrestre. L'auteur nous explique ce mécanisme. La lumière solaire est absorbée par ces particules, portant leur état d'énergie d'un niveau moindre vers un niveau d'énergie supérieure, puis les particules se désexcitent en réémettant la lumière dans toutes les directions. Cette réémission est préférentielle, la probabilité de ce processus étant plus élevée, pour les hautes fréquences ( $\alpha \nu^4$ ). Ainsi, la lumière diffusée est-elle plus intense dans le bleu que dans le rouge. C'est pourquoi le ciel paraît bleu."*

*Quant à la phrase suivante, veuillez ajouter l'adverbe -ainsi- et lire : "Le mécanisme de la diffusion qui nous est-ainsi-expliqué invoque les transitions atomiques...etc..."*

-----  
*L'article "Pourquoi le ciel est-il bleu?" (Cahier Clairaut n°3) n'expliquait pas les détails du mécanisme de cette diffusion. Nous publions ci-dessous un article présentant une description de cette interaction matière-rayonnement.*

*La Rédaction.*

=====

INTERACTION DE LA LUMIERE AVEC LA MATIERE  
LE PROCESSUS DE DIFFUSION.

L'avenir d'un photon qui vient frapper un atome (ou une molécule) dépend de son énergie. Si elle est égale à l'une des différences d'énergie existant entre un état excité et l'état fondamental de l'atome, celui-ci avale goulûment le photon, s'excite et, après un court moment d'euphorie, retombe dans son état fondamental en évacuant un photon de même énergie. Ce type de réaction est une réponse résonante à la lumière incidente.

Bien souvent, le photon agresseur n'a pas une énergie aussi bien choisie; l'atome réagit cependant. Les principaux aspects de cette réaction peuvent être compris de façon très simple. A l'atome est substitué un système d'oscillateurs électroniques dont les fréquences propres correspondent aux transitions entre les divers états excités et l'état fondamental de l'atome. Comme les diverses transitions ne sont généralement pas équiprobables, chaque oscillateur est en outre doué d'une certaine "*force*", mesure de la probabilité de la transition qu'il représente. Ordinairement, la transition entre le premier état excité et l'état fondamental est la plus probable, l'oscillateur correspondant est donc le plus "*fort*". Ceci permet de remplacer dans la plupart des cas l'atome par un oscillateur unique. (*relatif à cette transition*).

Dans les liquides et les solides l'énergie absorbée par les atomes est rarement restituée intégralement sous forme de photons expulsés\*; une fraction de cette énergie est transformée en mouvement thermique. Du point de vue des oscillateurs, cela se traduit par un coefficient de frottement.

De même que dans ce modèle, la notion de niveaux quantiques est abandonnée, au photon peut être substitué l'onde électromagnétique classique. Pourvu que les oscillateurs électroniques soient convenablement choisis, les effets quantiques, sont pris en compte. La description de l'interaction est alors la suivante : le champ électrique de l'onde lumineuse incidente accélère sur son passage les électrons des atomes; les oscillateurs électroniques entrent alors en vibration. Le nuage électronique de chaque atome vibre sous l'influence de la lumière incidente, à la même fréquence que celle-ci et avec une amplitude correspondant à celle de l'un des oscillateur du modèle. C'est ce mouvement accéléré qui provoque l'émission de lumière qui nous permet de voir les objets de notre environnement.

La figure 1 résume les différentes réponses d'un oscillateur de fréquence propre  $\omega_0$  au passage d'une onde électromagnétique de fréquence  $\omega$ .

---

\* Comme c'est le cas dans les gaz raréfiés.

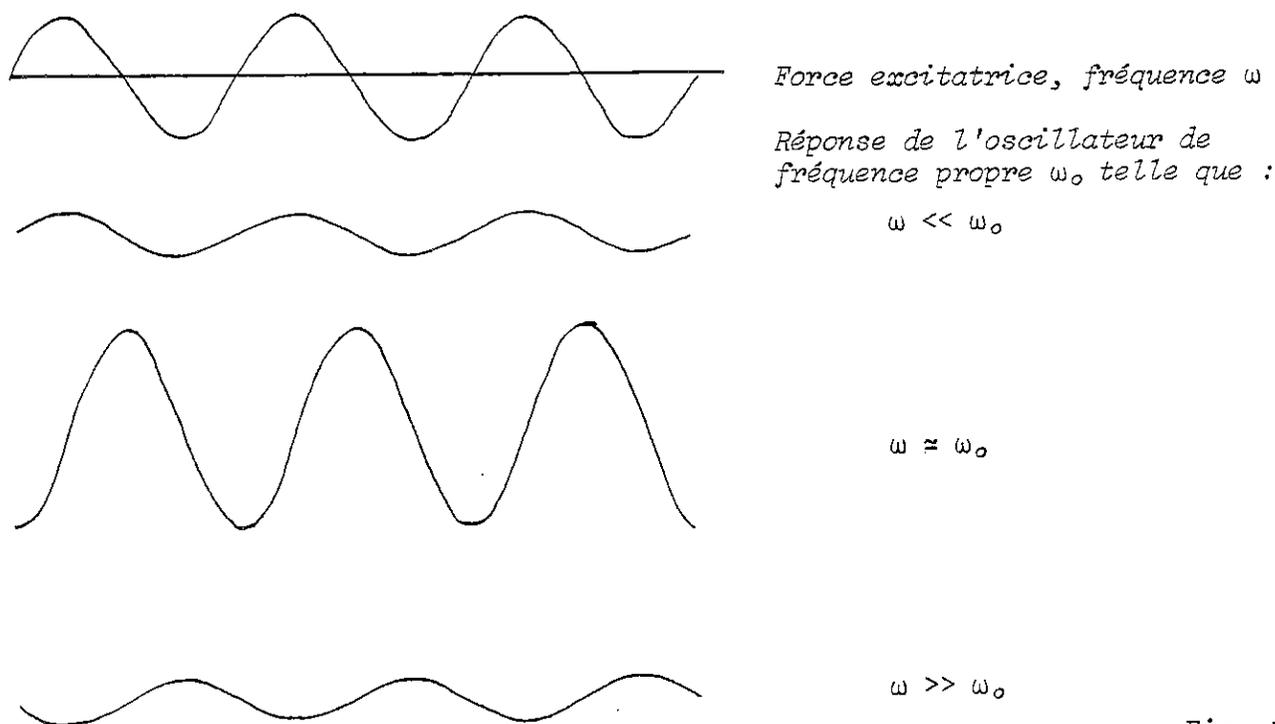


Fig. 1

Les atomes simples tels ceux d'hydrogène, de carbone, d'oxygène et d'azote ont des résonnances dans l'ultraviolet. Les molécules, par contre, peuvent aussi effectuer des vibrations dans lesquelles les atomes bougent l'un par rapport à l'autre. Par suite de la grande masse des atomes, ces vibrations ont des fréquences très basses, généralement dans l'infrarouge. Ainsi la plupart des molécules<sup>\*</sup> doivent être décrites à l'aide de deux types d'oscillateurs :

un oscillateur électronique et un oscillateur "lourd". Dans ce dernier, la masse oscillante a la masse d'un atome. Lors du passage d'une onde électromagnétique sur la molécule les deux oscillateurs réagissent, mais les amplitudes respectives de leurs vibrations sont dans le rapport de leurs masses; par conséquent, l'amplitude de l'oscillateur "lourd" est bien moindre que celle de l'oscillateur électronique. Pour cette raison, seul celui-ci sera pris en considération par la suite.

Une onde électromagnétique de fréquence  $\omega$  passe sur un oscillateur électronique de fréquence propre  $\omega_0$ . ( $\omega_0 \gg \omega$ ) situé à l'origine d'un système de coordonnées rectangulaires. Si le faisceau est supposé se propager suivant la direction  $oz$ , le champ électrique de l'onde s'écrit:

$$\vec{E} = (E_x^0, E_y^0, 0) \cos \omega t$$

---

\* Telles  $O_2, N_2, CO_2, H_2O$ .

Puisque  $\omega \ll \omega_0$ , l'amortissement de l'oscillateur peut être négligé\*, et l'équation du mouvement de l'électron s'écrit\*\* :

$$m\ddot{x} = -m\omega_0^2 x + e E_x,$$

où  $m$  est la masse de l'électron et  $e$  sa charge électrique. La solution est classique, elle est :

$$x(t) = \frac{e E_x^0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \cos \omega t \simeq \frac{e E_x^0}{m\omega_0^2} \cos \omega t.$$

L'accélération que l'électron acquiert au passage de l'onde vaut donc :

$$\gamma(t) = \ddot{x}(t) = -\omega^2 x(t) \propto \omega^2 \cos \omega t$$

Seule la dépendance en fréquence de la puissance moyenne rayonnée est importante. Aussi des calculs détaillés sont-ils inutiles, et l'analyse dimensionnelle en l'occurrence fera bien l'affaire. La puissance rayonnée  $\mathcal{P}$  par une particule de charge  $e$  et d'accélération  $\gamma$  ne peut dépendre que de  $e, \gamma$  et  $c$ . (La vitesse de la lumière doit intervenir, car les ondes émises sont des ondes électromagnétiques). Les dimensions respectives de ces grandeurs sont :

$$[e] = M^{1/2} L^{3/2} T^{-1} \quad (e = 4.803 \times 10^{-10} \text{ cm}^{3/2} \cdot \text{g}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}),$$

$$[\gamma] = LT^{-2}$$

$$[c] = LT^{-1}$$

par conséquent, la puissance  $\mathcal{P}$ , dont les dimensions sont  $M L^2 T^{-3}$ , s'écrira : \*\*\*

$$\mathcal{P} \propto \frac{e^2 \gamma^2}{c^3}$$

c'est-à-dire :

$\mathcal{P} \propto \omega^4 \cos^2 \omega t$ , soit  $\mathcal{P} \propto \frac{1}{\lambda^4}$  où  $\lambda$  est la longueur d'onde correspondant à la fréquence  $\omega$ .

La puissance moyenne rayonnée sera donc proportionnelle à  $\omega^4$ . C'est la fameuse loi de diffusion de Rayleigh : lorsqu'une molécule (ou un atome) est éclairée par un faisceau de lumière blanche, elle se met à osciller et réémet une lumière essentiellement bleue, car la puissance rayonnée

\* son importance n'intervient pratiquement qu'à la résonance  $\omega = \omega_0$ .

\*\* On ne considérera que la composante  $x$ , puisque, par raison de symétrie, la composante  $y$  donne des résultats semblables.

\*\*\* La formule exacte est :  $\mathcal{P} = \frac{2}{3} e^2 \gamma^2 / c^3$

dans le bleu est environ 16 fois plus forte que celle rayonnée dans le rouge. Si donc on regarde le ciel, mais pas directement vers le Soleil, il paraît bleu. La Terre photographiée depuis l'espace apparaît également bleue, en dehors des formations nuageuses. Si l'on regarde le Soleil à l'aube où à la brune, il est bas sur l'horizon et la lumière traverse une grande épaisseur d'atmosphère avant de parvenir au lieu d'observation. Comme l'intensité diffusée est plus forte dans le bleu que dans le rouge, la conservation de l'énergie\* montre que la lumière bleue est plus atténuée que le rouge à la traversée de l'atmosphère. (L'énergie rayonnée est prise sur le faisceau incident). C'est pourquoi aux moments du lever et du coucher, le Soleil paraît plus rougeâtre ou même très rouge selon la densité des basses couches atmosphériques. Ceci explique aussi que le Soleil observé au Zénith paraisse jaune et non blanc : l'épaisseur d'atmosphère traversée par la lumière est moindre au zénith qu'à l'horizon.

La diffusion Rayleigh est cependant un phénomène très faible; chaque molécule diffuse très peu de lumière. Par exemple, un faisceau de lumière verte parcourt environ 150 km dans l'atmosphère avant que son intensité ne soit réduite de moitié. C'est pourquoi on peut voir les montagnes à des centaines de kilomètres.

Le ciel est bleu, mais les nuages sont blancs. Pourquoi? Ils sont composés de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. Les molécules d'eau ont des résonances dans l'infrarouge et l'ultraviolet plus ou moins semblables à celles de l'oxygène et de l'azote; elles devraient donc réagir à la lumière solaire de la même façon que celles-ci, pourtant une différence capitale existe : les molécules d'air dans l'atmosphère sont réparties aléatoirement dans l'espace, de sorte que les rayonnements des divers oscillateurs dans une direction quelconque autre que celle de la lumière incidente sont indépendants. Ce n'est plus le cas lorsque les molécules (ou les atomes) sont arrangées de façon plus ou moins ordonnée, comme elles le sont dans les solides et les liquides, et en particulier dans les gouttelettes des nuages. Les oscillateurs n'étant plus répartis

---

\* L'énergie re-rayonnée doit provenir de la lumière solaire incidente. Dans un premier temps, l'énergie incidente est convertie en énergie mécanique de vibration des oscillateurs; dans un second temps, elle est re-rayonnée par ceux-ci; et le re-rayonnement étant plus intense aux fréquences élevées, plus d'énergie doit être prise sur celle de la lumière solaire aux hautes fréquences.

au hasard dans l'espace, les ondes qu'ils émettent interfèrent. Plus précisément, l'interférence est constructive dans la direction du trajet lumineux et destructive dans toutes les autres directions. L'onde ainsi résultante est l'onde réfractée. Si les oscillateurs sont disposés régulièrement, la destruction dans les autres directions est totale; à cause de l'agitation thermique un peu de désordre est toujours présent, de sorte qu'il y a toujours un peu de lumière diffusée en dehors de la direction de l'onde réfractée. Cette diffusion incohérente reste cependant toujours incomparablement plus faible que la diffusion Rayleigh dans l'air.

Que se passe-t-il lorsqu'une onde lumineuse frappe la surface d'un solide ou d'un liquide? Au sein du matériau la vibration des oscillateurs provoqué par la lumière incidente engendre des ondes lumineuses qui, la faible diffusion incohérente précédente mise à part, s'additionnent pour former une onde réfractée. Au voisinage de la surface, il en va autrement. Il existe en effet, une fine pellicule (dont l'épaisseur est environ  $\lambda/2$  dans laquelle les interférences destructrices ne se produisent pas totalement, formant ainsi l'onde réfléchie (fig.2).

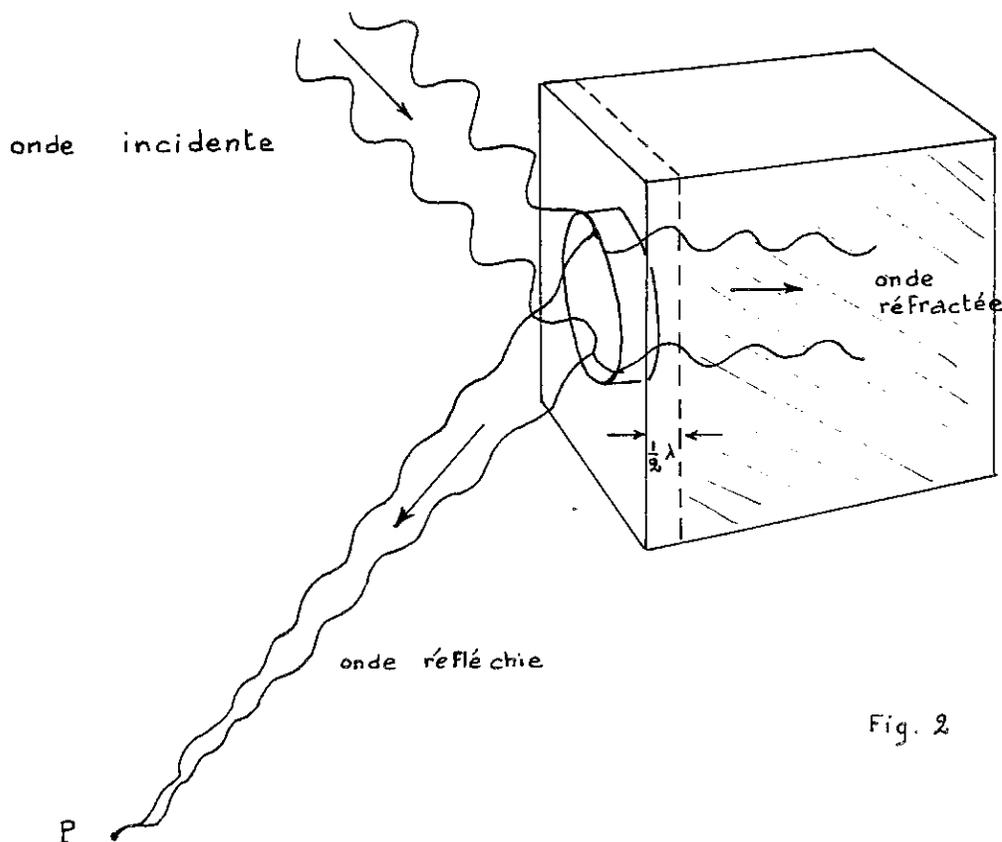


Fig. 2

Pour une lumière incidente blanche, la couleur de l'onde réfléchie n'est pas bleue, mais blanche. En effet, les oscillateurs dans la fine pellicule superficielle rayonnent en phase; ainsi, s'il sont en nombre  $N$ , l'intensité de l'onde réfléchie est proportionnelle à  $N^2$ . Or, puisque l'épaisseur de la couche responsable de l'onde réfléchie est de l'ordre de  $\lambda/2$ , le nombre  $N$  dépend de  $\lambda$ . Pour connaître la relation entre  $N$  et  $\lambda$ , il faut estimer l'aire de la couche qui produit l'onde réfléchie observée en un point  $P$  donné (fig. 2). Pour simplifier, le point  $P$  sera supposé être situé sur une perpendiculaire à la surface du matériau. Celle-ci peut alors être imaginée découpée en anneaux concentriques tels que les ondes réfléchies émanant de deux anneaux consécutifs présentent en  $P$  une différence de marche égale à  $\lambda/2^*$ . Si le nombre des anneaux est pair, alors aucune onde réfléchie n'est observée au point  $P$ . Si l'on observe une onde réfléchie, c'est que leur nombre est impair, et l'aire de la couche qui contribue effectivement à l'onde réfléchie est celle du premier anneau. Elle dépend de la géométrie de la surface réfléchissante et de la longueur d'onde incidente  $\lambda$ ; typiquement elle est proportionnelle à  $\lambda$ . Nous voyons alors que le nombre  $N$  des oscillateurs incriminés dans la production de l'onde réfléchie, étant proportionnel au volume de la couche considérée, est proportionnel à  $\lambda^2$ . Chaque oscillateur rayonne une intensité proportionnelle à  $\omega^4(\lambda^{-4})$ , l'intensité totale de la lumière réfléchie est par conséquent proportionnelle à  $N^2 \omega^4$ , c'est-à-dire indépendante de la longueur d'onde incidente. Si la lumière incidente est blanche, la lumière réfléchie l'est aussi. C'est pourquoi les nuages sont blancs.

Dans tout ceci nous n'avons tenu compte ni de la taille des gouttelettes d'eau formant le nuage, ni de la densité des particules dans le gaz où la diffusion se produisait.

Dans le cas du nuage, si la taille des gouttelettes ne peut pas être considérée comme étant grande devant la longueur d'onde incidente, la réflexion et la réfraction ordinaire ne peuvent avoir lieu, faute d'un nombre suffisant d'oscillateurs dans les gouttelettes. C'est l'explication, par exemple, de la disparition d'un nuage par une journée sèche : les gouttelettes s'amenuisent par évaporation, jusqu'à ce que le nuage paraisse bleu.

---

\* Ces anneaux sont appelés zones de Fresnel.

Dans le cas de la diffusion par un gaz, c'est-à-dire lorsqu'on peut considérer que les oscillateurs sont répartis au hasard, la loi de Rayleigh s'applique si la taille des particules diffusantes est petite devant la longueur d'onde de la lumière incidente (environ plus petite que  $0.1$  à  $0.2 \lambda$ ), mais lorsque la densité des particules devient importante, il faut également tenir compte de ce que l'onde incidente subira des interactions multiples ce qui complique l'analyse du phénomène; regardons par exemple la colonne de fumée formée par un feu de bois : elle nous paraît blanche là où elle est la plus épaisse, alors qu'à l'extérieur elle est bleutée.

Quand la taille des particules est grande (par exemple  $0,01$  mm) la diffusion se fait sans introduire de changement de couleur. Dans le domaine intermédiaire des valeurs de la taille de ces particules, l'intensité diffusée varie comme  $\lambda^{-P}$ , où  $0 < P < 4$  (loi de la diffusion de Mie), ce qui explique les diverses colorations observées autres que le bleu, lors de la diffusion de la lumière blanche par des particules un peu plus grosses que les molécules de l'atmosphère terrestre.

M. GERBALDI

B. LEROY

*Ce texte a été rédigé essentiellement à partir de l'article:*

*"How light interacts with matter", V.F. Weisskopf - Scientific American, 1968, page 219.*



CALCUL DU RAYON TERRESTRE

Depuis longtemps, je pense que, sans vouloir refaire l'histoire, il nous est possible de rééditer avec des élèves, certaines expériences des anciens astronomes qui ont fait tant de découvertes à la suite d'observations n'exigeant pas un matériel compliqué. Aussi, en lisant dans le "Nuffield Astronomy", la proposition de refaire l'expérience d'Eratosthène et de recalculer le rayon de la terre entre Nice et Strasbourg, j'ai pensé = pourquoi pas. Devant l'intérêt des élèves à cette proposition, j'ai pris contact avec Madame Gullon, professeur de mathématiques dans un collège des environs de Strasbourg. Nous nous sommes donnés rendez-vous pour un jeudi de juin à 13h30.

Dans les deux établissements, les enfants vérifient que le poteau de Volley choisi pour l'expérience est bien vertical. Ils en mesurent la hauteur. Au Collège Valèri où je comptais mener ce travail avec des 6e seulement, mes élèves de 5e et de 3e demandent à y participer. Aussi plusieurs mesures sont faites. On fait des moyennes. On s'entraîne à mesurer la longueur de l'ombre aussi exactement et aussi rapidement que possible. Faut-il compter depuis le pied du poteau ou depuis le centre? Chacun donne son avis. Mais la brume des jours chauds à midi commence à s'épaissir...

A 13h30 Frederic (5e) appelle son "collègue" de Strasbourg:  
-Allo, quel temps avez vous?

-Du soleil et des nuages, mais on a déjà fait des mesures depuis un moment toutes les 5 minutes.

Bon, alors dans 3mn, vous refaites une mesure et je te rappelle dans 5mn. D'accord?

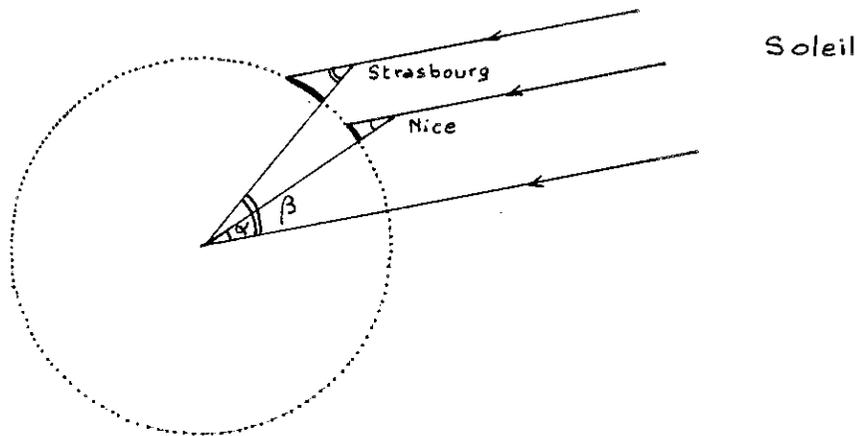
-D'accord

-Bon top.

Marchant tranquillement en surveillant le chronomètre que lui a prêté un professeur de gymnastique, Frederic revient vers ses camarades. Attention 5, 4, 3... top=mesures rapides. Il était temps, l'ombre devenait imperceptible.

A Strasbourg, un gros nuage est passé au mauvais moment. Tant pis, nous ferons les calculs avec leur précédent relevé.

En 6e, utilisant les échelles, une équipe refait le dessin pour les mesures à Nice, une 2e pour celles de Strasbourg, la 3e au CDI cherche à mesurer la distance Nice Strasbourg à vol d'oiseau à l'aide de différents atlas.



En géométrie, nous avons fait des mesures d'angles alternes-internes (sans les nommer) si bien que les enfants trouvent d'eux mêmes  $(\beta - \alpha)$ . Par contre il faut les aider pour déterminer R mais ils s'en tirent très bien.

J'avais surtout penser à cette expérience pour faire prendre conscience aux élèves de 6e de l'utilité des échelles. Je n'avais pas vu au départ combien ce problème "collait" à leur programme échelles - mesure de secteurs angulaires - longueur du cercle - d'un arc de cercle - nombres proportionnels et en faisait un excellent exercice de récapitulation en fin d'année.

En 3e, dès avant la rentrée de 14h, deux garçons ont déjà fait les calculs en utilisant la trigonométrie (acquisition toute fraîche qu'ils sont fiers d'utiliser) et ont même, dans leur souci de précision "réinventé" l'interpolation. Une erreur dans l'appréciation de la distance les amène à  $R = 10\ 000$  km. Mais rectification faite et le reste de la classe s'y mettant, on arrive à environ 7000 km. Pour se justifier, ils me font remarquer que Nice et Strasbourg ne sont pas sur le même méridien, que les mesures n'ont pas été faites à la même heure, que....

Je crois simplement que leur recherche de précision dans les calculs n'était pas compatible avec celle des mesures, car en 5e, voici les résultats:

|                     | Nice   | Strasbourg |
|---------------------|--------|------------|
| hauteur du poteau   | 248cm  | 245        |
| longueur de l'ombre | 93,5cm | 110        |

Les enfants ont choisi comme échelle pour les dessins = I/20e

$$\alpha = 20^\circ \quad \beta = 25^\circ$$

sur un atlas Nice Strasbourg 22,2cm à l'échelle I/2 500 000 soit 555km à vol d'oiseau.

$$\text{Longueur du méridien: } \frac{555 \times 360}{5} = 39\,960 \text{ Km}$$

$$\text{Rayon de la Terre : } 39\,960 : (2 \times 3,14) = 6\,363 \text{ Km.}$$

En 6e, les enfants ont choisi une échelle de I/10; leur calcul donne 6 400Km.

J.Chappelet  
Groupe Ciel.C.E.M.E.A.

\*\*\*\*\*

EXPOSITION D'ASTRONOMIE A L'UNIVERSITE DE PARIS - SUD

Une exposition d'Astronomie se tiendra à l'Université de PARIS-SUD , Centre d'ORSAY ( gare du RER ligne B : Orsay ) du 18 au 28 avril 1980 , au bâtiment des Colloques .

Lors de cette exposition qui présentera un panorama de l'Astronomie contemporaine, des expériences simples : observation des taches du Soleil, spectre solaire seront montées et fonctionneront , des films seront présentés .

Une présentation d'ouvrages récents d'Astronomie , de diapositives et photos actuellement disponibles dans le commerce sera à la disposition des visiteurs .

L'après-midi du mercredi 23 avril sera spécialement destinée aux Enseignants et consacrée à la présentation du matériel didactique existant en Astronomie et pouvant être utilisé soit au niveau d'un enseignement, soit dans le cadre d'un club . Des films et des diapositives seront spécialement projetés et discutés au cours de cette après-midi .

En soirée, les samedi 19 et 26 ainsi que les dimanche 20 et 27 une initiation à l'observation astronomique sera faite avec de petits instruments : lunette et télescopes .

Si vous désirez visiter cette exposition avec votre classe, nous vous demandons de bien vouloir contacter Madame L. LEHOUX Université de Paris-Sud Centre Scientifique d'Orsay Cellule d'Information et de Diffusion Scientifique - Bat 490 91405 ORSAY Cedex . Tel (1) 941-66-38 , afin d'organiser au mieux la présence simultanée de plusieurs classes et de prévoir pour cette visite la présence d'un Astronome qui répondra à vos questions .

Cette exposition sera animée en permanence par des Enseignants-Chercheurs d'Orsay, Astronomes et Planétologues .

HELIOSCOPE SIMPLE

BUT : Photographie de la course du Soleil.

Mesure de la durée d'ensoleillement.

MATERIEL UTILISE -

- Contreplaqué 8 ou 10 mm
- " " 5 mm
- une boîte (genre boîte à café moulu avec couvercle) de diamètre 10 cm.
- colle - peinture

(fig.1)

CONSTRUCTION -

- percer la boîte avec une épingle (ou une pointe acier très fine) en T, à mi-hauteur - Veiller à ce que le trou soit net. Limer à la lime douce à l'intérieur.
- préparer le support de la boîte : une planchette E de 12 x 12cm en contreplaqué de 5 mm. Coller une couronne C dont le diamètre intérieur est le même que celui de la boîte (la boîte doit entrer en forçant).
- faire un socle S en 8mm et de dimensions 15 x 20 cm
- découper 2 cales triangulaires dont l'un des angles est égal au complément de la latitude du lieu d'observation  $\lambda$
- fixer la planchette E sur le socle à l'aide des cales (coller)
- peindre la boîte : extérieur blanc - intérieur noir mat.

(fig.2)

UTILISATION -

- .En lumière atténuée, placer une bande de papier photo ordinaire (périmé = moins cher!) dans la boîte.
- .Placer la boîte dans son logement sur E de façon à ce que le trou soit orienté vers le Sud. La direction NS est indiquée sur le socle S.
- .Orienter l'appareil. La planchette E est alors parallèle au plan de l'Equateur.
- .On peut étalonner une bande témoin (en plastique transparent) de 1/4h en 1/4h pour mesurer l'ensoleillement pendant une journée.
- .Sortir le papier photo en lumière atténuée. Pour examen en lumière normale fixer quelques minutes et rincer.

(fig.3)

Nota - le papier photo noircit au Soleil. Seule l'image du Soleil dans la boîte impressionne la surface sensible. La trace laissée est donc l'image de la course du Soleil pendant une journée, trace effacée par des passages nuageux.

La courbe n'est pas la même suivant la saison, le Soleil se trouvant au dessus ou au dessous de l'équateur.

Alphonse Delavergne  
Groupe Ciel-CEMEA.

HELIOSCOPE

Fig 1

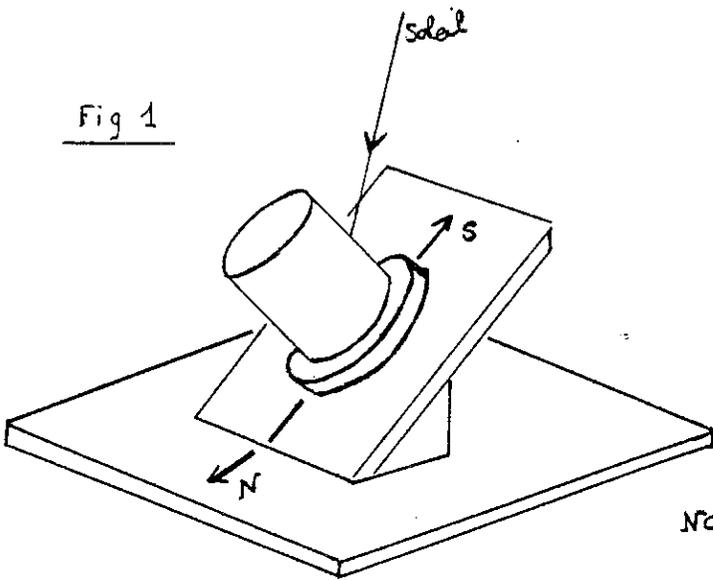


Fig 2

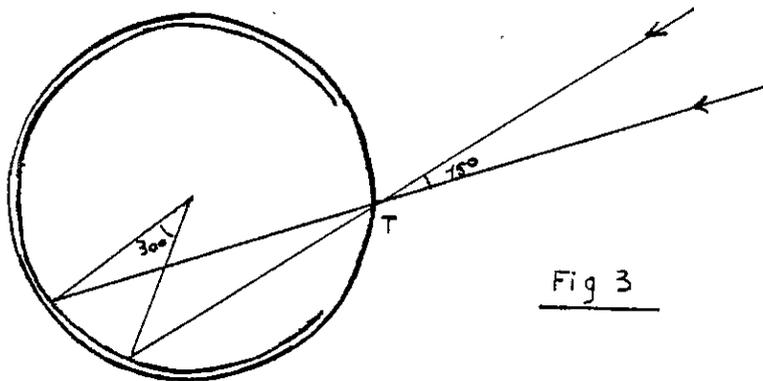
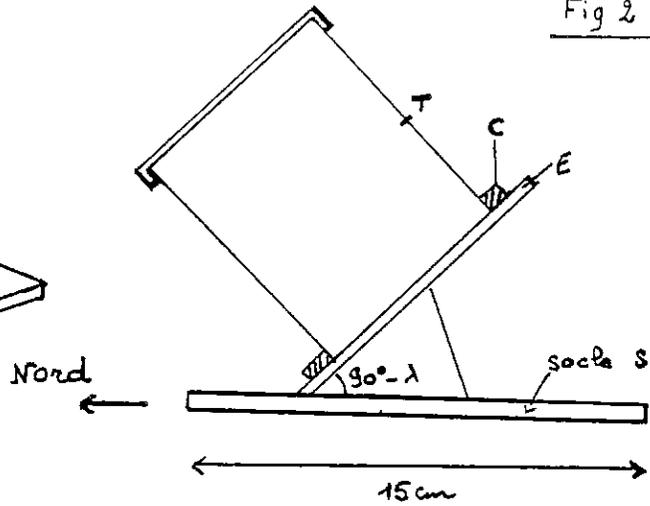
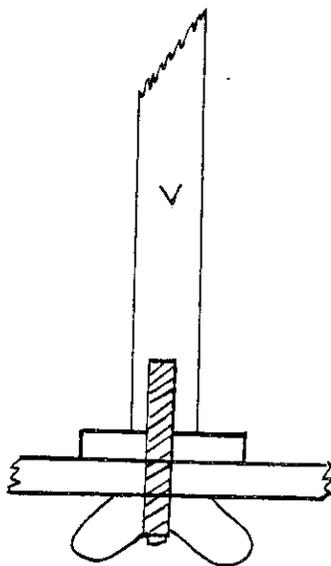


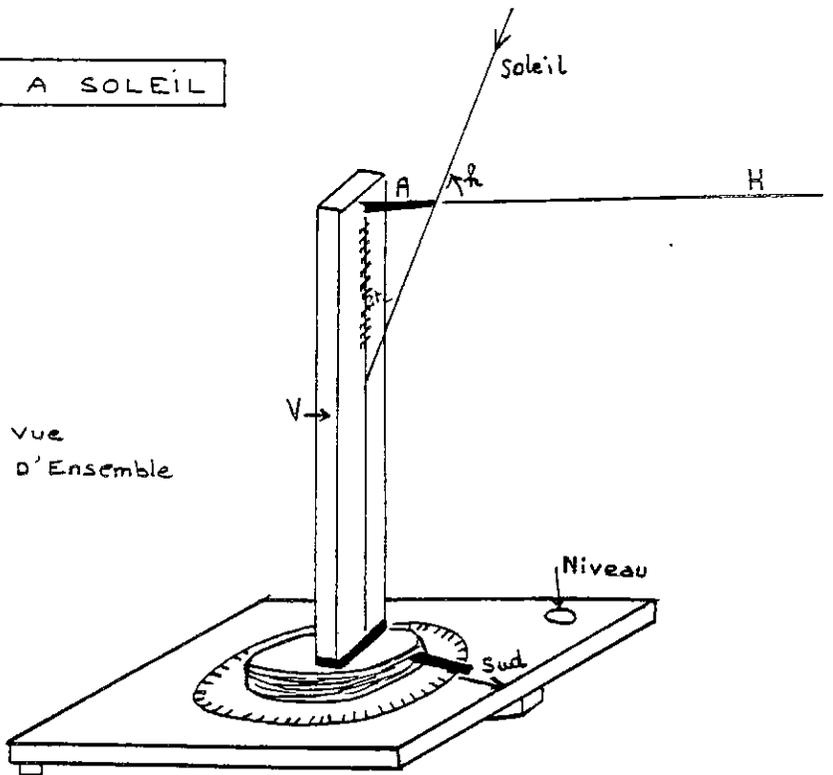
Fig 3

En une heure le Soleil se déplace de  $15^\circ$ , ce qui correspond à un angle au centre de  $30^\circ$ , donc sur le papier à une longueur de  $\frac{\pi R}{6}$  permettant l'étalonnage.

TOISE A SOLEIL



Détail



vue d'Ensemble

TOISE A SOLEIL

BUT : Mesurer l'azimut et la hauteur du Soleil.

UTILISATION -

Quelques suggestions :

- Courbe de la hauteur du Soleil en fonction de l'heure pour une journée.
- Recherche du midi vrai
- Comparaison de la position du Soleil à midi vrai à des périodes différentes → méridienne  
→ mise en évidence des solstices.
- détermination de la latitude du lieu  $90^\circ - h$
- hauteur du Soleil à midi vrai aux solstices → angle de l'axe des pôles par rapport au plan de l'écliptique ( $23^\circ 27'$ )

MATERIEL UTILISE :

- Contreplaqué de 10 mm
- Tasseau 50 x 20 x 300
- Boulon avec écrou à oreilles  $\varnothing$  8 ou 6 mm
- un rapporteur  $360^\circ$
- Une aiguille à tricoter  $\varnothing$  1 mm ou rayon de bicyclette.

REALISATION -

Les dimensions dépendent de la longueur de l'aiguille A. Pour une aiguille de 10 cm, la hauteur de la toise est d'environ 30 cm.

- Veiller à ce que V soit bien perpendiculaire au socle.
- Porter les graduations sur une bande de papier que l'on colle sur le tasseau V.

Ces graduations pourront être portées directement en degrés,

- par construction à l'aide d'un rapporteur dès la 6ème.
- en utilisant la trigonométrie en 3ème (cette dernière méthode étant plus précise).

-----

Si des collègues utilisent cette "toise à Soleil" avec des élèves, nous espérons qu'ils voudront bien nous faire connaître les travaux effectués, avec quelles classes, dans quelles conditions, éventuellement les améliorations apportées. Merci d'avance.

Lydie Meeus - Pierrette Voyer - Jeanine Chappellet -  
Groupe Ciel - CEMEA -

=====

COURRIER DES LECTEURS

Dans cette rubrique, nous faisons écho à toute question posée par un lecteur. Ou bien nous essayons d'y répondre nous-mêmes, ou bien nous sollicitons l'aide d'autres lecteurs. Ecrire au responsable de la rubrique, Gilbert Welusinski, 26 Bérengère, 92210 Saint-Cloud.

1. Relation entre temps sidéral et temps universel

===== Suite de la note présentée par notre Collègue J-M.Poncelet (57140 Barr) sur le triangle de position (Cf cahier n°6, p 22).

Le problème posé est : connaissant le temps indiqué par nos horloges, par exemple l'horloge parlante de l'Observatoire de Paris (appeler au téléphone 15 1 453 84 00), calculer le temps sidéral local à la date considérée.

Notations (ce sont celles des Ephémérides du Bureau des Longitudes) :  $T_1$  = temps sidéral de Greenwich, c'est à dire angle horaire du point  $\gamma$  en ce lieu à l'instant considéré.  $T_1$  comme tout angle horaire est mesuré en heures, minutes et secondes de temps sidéral (1 tour =  $360^\circ = 24$  h ou encore  $1^\circ = 4$  mn et  $1' = 4$  s ; le temps sidéral est un angle).  $T$  = temps sidéral local en un point de longitude  $\lambda$  ( $\lambda$  positif pour les longitudes Ouest, négatif à l'Est).  $t$  = temps civil de Greenwich ou temps universel mesuré en heures, minutes et secondes de temps moyen ; rappelons que l'horloge parlante donne, selon les saisons,  $t + 1$  heure ou  $t + 2$ .

N.-B. : malgré l'identité des noms, on ne peut confondre les heures, minutes et secondes de temps sidéral utilisées pour mesurer  $T$  qui est un angle et les heures, minutes et secondes de temps moyen utilisées pour mesurer  $t$  qui est un temps. En 23 h 56 mn 4,09 s de temps moyen, la Terre tourne sur elle-même d'un tour soit 24 heures de temps sidéral ; autrement dit, en 86 164,09 secondes de temps moyen, elle tourne de 86 400 secondes de temps sidéral.

Conversion d'un temps moyen  $t$  en temps sidéral  $T$  :

ou bien on utilise les tables de conversion données (pour ce calcul ou le calcul inverse) aux pages 52 et 53 des Ephémérides 79 (que les Ephémérides 80 ne redonnent pas). Exemple :

$t = 22$  h 47 mn 53 s

$$\begin{array}{rcl}
 22 & \longrightarrow & 22 \text{ h } 03 \text{ mn } 35,84 \text{ s} \\
 47 & \longrightarrow & 47 \quad 07,72 \\
 53 & \longrightarrow & 53,15 \\
 \hline
 \end{array}$$

$$t = 22 \text{ h } 47 \text{ mn } 53 \text{ s} \longrightarrow T = 22 \text{ h } 51 \text{ mn } 37,71 \text{ s}$$

ou bien, calcul direct de proportion entre  $t$  et  $T$  exprimées en secondes respectives :

$$\frac{T}{86\,400} = \frac{t}{86\,164,09}$$

Calcul du temps sidéral de Greenwich  $T_1$  lorsque l'horloge en temps universel indique  $t$  à la date  $d$ .

A cette date, les Ephémérides donnent  $T_0$  = temps sidéral de Greenwich à 0 h TU ou  $t = 0$ . De 0 h TU à  $t$ , la Terre a tourné d'un angle  $T_t$  qui est la valeur de  $t$  transformée en temps sidéral (grâce aux tables qui viennent d'être citées ou à la formule ci-dessus). Attention, la somme qui en résulte  $T_1 = T_0 + T_t$  est à prendre à 24 heures près ; si un calcul donne  $T_1 = 25 \text{ h } 12 \text{ mn } 37 \text{ s}$ , il faut lire  $T_1 = 1 \text{ h } 12 \text{ mn } 37 \text{ s}$ .

Calcul du temps sidéral local  $T$  en un lieu de longitude  $\lambda$  à la date  $d$  et pour la valeur  $t$  du temps universel :

$$T = T_1 - \lambda \implies T = T_0 + T_t - \lambda \quad (\text{à 24 heures près})$$

Exemple : lieu d'observation: 67140 Barr ;  $\lambda = -29 \text{ mn } 48 \text{ s}$  date 19790307 ;  $t = 22 \text{ h } 47 \text{ mn } 53 \text{ s}$ . Les Ephémérides donnent  $T_0 = 10 \text{ h } 56 \text{ mn } 29 \text{ s}$ . D'où  $T = 10 \text{ h } 17 \text{ mn } 54,71 \text{ s}$

Le calcul inverse, celui de  $t$  connaissant  $T$  passerait par le calcul de  $T_t$  et le calcul du  $t$  correspondant.

Application En utilisant les formules du triangle de position rappelées dans le Cahier n°6 et les formules précédentes, nous pouvons maintenant calculer l'heure  $t$  du passage d'un astre au méridien d'un lieu, l'heure de son lever, celle de son coucher, les azimuts de ces lever et coucher.

Les formules sont données pour un lieu de longitude  $\lambda$  de latitude  $\varphi$ , à la date  $d$ . Les calculs sont faits pour Barr  $\lambda = -29 \text{ mn } 48 \text{ s}$  ;  $\varphi = 48^\circ 24' 07''$  ; à la date 19790307 soit  $T_0 = 10 \text{ h } 56 \text{ mn } 29 \text{ s}$ . L'astre observé est Jupiter ; les Ephémérides donnent à cette date, après interpolation,

$$\alpha = 08 \text{ h } 07 \text{ mn } 45 \text{ s} \quad \text{et} \quad \delta = 20^\circ 54' 30''$$

1°) Heure du passage de Jupiter au méridien :  $T = T_1 - \lambda = \alpha$   
on en déduit  $T_1 = 08 \text{ h } 07 \text{ mn } 45 \text{ s} - 29 \text{ mn } 48 \text{ s} = 07 \text{ h } 37 \text{ mn } 57 \text{ s}$   
et  $T_t = 20 \text{ h } 41 \text{ mn } 28 \text{ s}$   
soit  $t = 20 \text{ h } 38 \text{ mn } 04 \text{ s}$

2°) Heures des lever et coucher de Jupiter : on commence par calculer l'angle horaire de Jupiter à son coucher par la formule  $\cos H = - \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \varphi$  soit ici  $H = 7 \text{ h } 42 \text{ mn}$  et pour le lever  $H = 16 \text{ h } 18 \text{ mn}$ . On en déduit la valeur du temps sidéral local par la formule  $T = \alpha + H$ , ce qui donne, pour le coucher  $15 \text{ h } 50 \text{ mn}$  et pour le lever  $0 \text{ h } 25 \text{ mn}$  ; il ne reste plus qu'à calculer les temps universels correspondants comme on l'a vu plus haut.

3°) Azimuths des lever et coucher de Jupiter : ils sont donnés par  $\cos A = - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$  ou  $A = \pm \operatorname{Arccos} \left( - \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} \right)$   
 $A > 0$  pour le coucher,  $A < 0$  pour le lever.  
Dans le cas étudié, on trouve  $\cos A = - 0,5375$  et pour l'azimut du coucher  $A = 122^\circ 31'$

J.-M.Poncelet

## 2. Sur le retard des levers héliques de Sirius

===== Question posée  
par M.Périllat : "Dans l'Egypte antique, à partir du IV<sup>ème</sup> millénaire av J.C., le lever hélique de Sothis (Sirius dans la terminologie actuelle) était un phénomène très attendu car il annonçait les crues du Nil en basse Egypte. Or Paul Couderc indique, dans son livre Les Etapes de l'Astronomie (Que sais-je? n°165) que par suite de la précession, ce lever a retardé lentement d'environ une semaine par millénaire. Comment calcule-t-on ce retard ?"

Amorce de réponse : en mille ans, une étoile située au voisinage de l'équateur, donc de faible déclinaison, a une ascension droite qui varie de presque  $50''$  par an soit environ  $14^\circ$  en mille ans ; son lever retarde alors de près de deux semaines en mille ans. Pour Sirius situé à une déclinaison de  $- 16^\circ 41'$ , le retard est sensiblement moindre.

Pour faire un calcul plus précis, on peut se reporter aux formules permettant le calcul des coordonnées moyennes d'une étoile ; voir par exemple Astronomie Générale de Dunjon, p 91.

3. Parmi nos lettres ...

===== Faut de pouvoir citer toutes les lettres reçues, mentionnons au moins nos principaux correspondants. Nous remercions une nouvelle fois tous ceux qui nous donnent des nouvelles de leurs activités en faveur de l'enseignement de l'astronomie. Parmi eux : M. Fau (95100 Argenteuil) qui a suivi le cours de Celnikier à l'Université Paris VI avec grand intérêt mais qui, par ailleurs a essuyé un échec pour intéresser les élèves d'une classe de 1 ère B à l'astronomie; il ne se décourage pas pour autant ; bravo !- M.F. Aveline (76400 Fécamp) a pu faire des photos avec ses élèves lors de l'éclipse de septembre 78 ; un de ses collègues, prof de math, s'abonne aux Cahiers. - Daniel Audinot (lycée Hassan II, Safi, Maroc) souhaite, grâce aux Cahiers, échanger des expériences avec les collègues ; "l'environnement culturel, en particulier scientifique, de nos élèves est très pauvre" dit-il. - Gilbert Cros (69007 Lyon) anime depuis onze ans le club d'astronomie du lycée Ampère et organise chaque été un camp à Saint-Véran pendant une dizaine de jours. - Gérard Frizet (28107 Dreux) anime le club d'astronomie du lycée E. Branly qui a organisé une exposition, des projections de diapositives et de films. - Jean Gillier (58390 Dornes). Hervé Normand (44600 Méan St Nazaire).

De Daniel Bardin (13011 Marseille), à la fin de sa réponse au questionnaire des participants à l'école d'été de Grasse 1979 et en vue de l'école 1980 : "Prévoir peut-être un appel dans le bulletin d'inscription à l'école de 1980 pour que les collègues ayant une expérience, même modeste, apportent des documents relatifs à leurs travaux ; je pense que des travaux tels que ceux de Victor Tryoën, de Christian Canard ou de Daniel Toussaint ont enrichi les contacts entre stagiaires, mais de nombreux travaux n'ont été vus que par de petits groupes, et auraient pu être diffusés plus largement."

Remarquez que nos correspondants ne travaillent pas forcément sous des cieux climatiquement favorables à l'astronomie ; d'autre part, ils enseignent à tous les niveaux primaires et secondaires.



de 30 diapositives. Prix US \$ 12. Les frais d'envoi sont de US \$ 3. Il semble par ailleurs que le délai d'expédition soit très long. [communiqué par B. Hauck; Observatoire de Genève].

- Documentation de la NASA. Pour obtenir une documentation sur les découvertes des sondes Voyager, Pioneer, etc, écrire à Miss DEBRA RAHN, code LI-15, NASA Headquarters, Washington DC 20546. Précisez que vous recherchez une documentation utile à l'enseignement de l'astronomie.
- Espace Information, bulletin périodique gratuit paraissant trois fois par an, est adressé par le CNES à qui en fait la demande au Département Publications du Centre Spatial de Toulouse, 18 av Edouard Belin, 31055 Toulouse Cedex. Dans le n°16, octobre 1979, "la localisation et la collecte d'informations par satellites", "les satellites géostationnaires" et la chronique spatiale avec quelques photos des satellites de Jupiter. Espace Information est une revue de qualité : la preuve, elle a déjà cité les Cahiers Clairaut !
- Des colloques (qui intéressent plus les spécialistes que les enseignants; mais ceux-ci peuvent être intéressés par certains sujets. Toulouse 22-24 avril 1980, "Applications de la photométrie bidimensionnelle à l'astrophysique", premier colloque national du comité français du télescope spatial. Toulouse 2-13 juin 1980, "le mouvement du véhicule spatial en orbite", cours de technologie spatiale organisé par le CNES. Grasse 1er-28 août, "Formation des systèmes planétaires" école d'été de physique spatiale organisée par le CNES sous la responsabilité scientifique d'André Brahic.
- Au Palais de la Découverte : Deux réalisations récentes intéressent spécialement nos lecteurs.

1°) Le nouveau planétarium est entré en service. Il remplace celui qui fut installé en 1957 et qui joua un rôle éminent dans le succès populaire du Palais de la Découverte. Le vieil appareil, après 40 ans de loyaux services, donnait des signes de fatigue (plus de Lune !); pour des raisons de sécurité, devant l'afflux du public au Palais, il fallait déplacer l'installation. Grâce à quoi nous avons une instal-

lation et une appareil modernes. Le nouveau planétaire aux commandes électroniques est plus perfectionné que l'ancien. S'il peut, comme celui-ci, nous montrer l'inégalité des jours et des nuits selon les saisons, les phases de la Lune, les mouvements apparents des planètes, comme on les voit de Paris ou de n'importe quel point de la Terre, pôles compris, le nouvel appareil peut nous transporter sur la Lune pour y observer le mouvement du ciel ; il peut aussi nous projeter le mouvement des planètes comme si nous l'observions de l'extérieur du système solaire, ou le mouvement des satellites galiléens autour de Jupiter.

Les collègues qui avaient déjà conduit leurs élèves à l'ancien planétarium savent quel est le profit de ces séances. Sachez, en tout cas que pour le nouveau planétarium, il faut retenir ses places à l'avance. La preuve, s'il en était besoin, qu'une telle installation au centre de Paris est indispensable et qu'il faut en prévoir d'autres ailleurs, aussi bien dans le futur musée des sciences de la Villette que dans toutes les grandes villes.

2°) L'oeuvre scientifique d'Albert Einstein, exposition ouverte le 4 novembre 1979 jusqu'en septembre 1980 ; après quoi l'exposition visitera les grandes villes du pays.

Sur une première série de panneaux et de maquettes, sont présentés les principes de la mécanique classique, ceux de la relativité restreinte puis ceux de la relativité généralisée. L'explication complète de l'avance du périhélie de Mercure, la déviation des rayons lumineux au voisinage du Soleil (mesure effectuée par Eddington à l'occasion de l'éclipse de 1919) sont des vérifications classiques justement rappelées ici. La deuxième partie de l'exposition traite du photon et de la microphysique ; on ne doit pas oublier, quelle que soit la popularité de la Relativité, que c'est pour sa découverte du photon que Einstein reçut le prix Nobel de physique.

Enfin, au centre de l'exposition, des documents biographiques qui ne sont pas la partie la moins passionnante de l'exposition, la personnalité de Einstein dépassant en importance celle de ses découvertes. quelques textes du



Lectures pour la Marquise et pour ses amis

L'astronomie en 4<sup>ème</sup> est l'oeuvre de l'ERTEA, citée dans le courrier, et plus particulièrement de Agnès Acker, Eliane Legrand et Jean-Marie Poncelet. Les exposés sont illustrés de nombreux exercices originaux. Ainsi, à partir de l'enregistrement d'un signal radar sur la Lune, on calcule la distance de la Terre à la Lune. Ou bien, à partir des photos de cinq galaxies du même type, on mesure leurs distances. Certains sujets sont très classiques, les phases de la Lune par exemple ; mais les conditions de visibilité de la Lune, si faciles à connaître par l'observation directe sont reconnues par une foule de gens ; ici, cela donne lieu à une suite d'exercices instructifs.

L'intérêt particulier de cet ouvrage est à la fois dans le bon équilibre entre exposés et exercices et dans la qualité de l'ensemble. C'est tout l'opposé de l'indigence de certains manuels de physique de 4<sup>ème</sup>, indigence étant leur moindre défaut vis à vis de l'astronomie. Tout le monde devrait savoir qu'on ne gagne rien, pédagogiquement, à prendre les élèves pour des imbéciles. Le bon exemple de nos amis de l'ERTEA qui donnent aux élèves le goût de l'observation, du calcul et de la réflexion mérite d'être imité. [ Une annonce ultérieure sera faite lors de son édition et diffusion par le CRDP de Strasbourg ]

L'astronomie dans l'antiquité classique Un livre tout différent du précédent. Certains demanderont : "A-t-on le temps d'étudier ce que pensaient les Anciens, Grecs et Latins, alors que les découvertes de l'astronomie moderne nous pressent et que nous avons déjà du mal à les suivre et à les comprendre ?" La réponse est facile ; il n'y a pas de science pour laquelle, autant qu'en astronomie, l'histoire de ses conceptions est aussi étroitement liée à celle de ses découvertes. Citons ici Jean Perrin : "C'est une bien faible lumière qui nous vient du ciel étoilé. Que serait, pourtant, la pensée humaine si nous ne pouvions pas percevoir ces étoiles.. ?" Et puis, pour les enseignants que nous sommes, il est spécialement utile de situer l'astronomie d'aujourd'hui, d'en saisir les racines qui sont historiques. Enfin, parmi toutes les sciences, l'astronomie est sans doute celle dont l'histoire est la

plus accessible.

Ce livre, "L'Astronomie dans l'Antiquité classique", reproduit les communications à un colloque qui réunit à Toulouse en 1977 des astronomes, des hellénistes et des latinistes. D'où le plan de l'ouvrage. Un exposé liminaire de Henri Andriolat, "Panorama actuel de la cosmologie". Une suite d'exposés sur l'astronomie des Grecs (Alcméon entre Pythagore et Parménide, Autolykos de Pitane au 4<sup>ème</sup> siècle, Euclide au 3<sup>ème</sup>, Hipparque, Eudoxe et Aratos, Cléomède et le mouvement circulaire. Enfin des études sur l'astronomie à Rome, la cosmologie lucrétienne. L'étude sur la redécouverte de l'astronomie grecque en Occident au VIII<sup>ème</sup> siècle n'est pas le moins passionnant ; n'est-ce pas ainsi, comme pour les mathématiques, qu'a pu naître la science moderne ?

Un beau livre que les bibliothèques des lycées et collèges devraient avoir en rayon à la disposition des enseignants.

Editeur: Les Belles Lettres - Ouvrage de 260 pages - édité au 4<sup>trimestre</sup> 1979 -  
Genre: ouvrage de référence - Niveau: III niveau supérieur.

#### Pour inventaire

Faute de pouvoir analyser en détail tous les livres utiles à l'enseignement de l'astronomie, citons au moins quelques publications récentes :

- "Le Soleil, l'énergie solaire", polycopié de 52 pages édité par le CRDP de Lille. 3 rue Jean-Bart B.P. 3399 - 59018 LILLE Cedex

Auteurs: GIBON - HERBAULT - PASCAL - TRYOEN - édité en juin 1979 -  
Genre: ouvrage de référence - Niveau: I2 initiation et II niveau bac

- Trois publications du Centre suisse pour le perfectionnement des professeurs de l'enseignement secondaire, l'Institut d'astronomie de Lausanne et l'Observatoire de Genève :

1) "Initiation à l'astronomie" par F. Egger, G. Freiburghaus et B. Hauck ; polycopié de 24 p pour des séances d'observation.

Édité en 1969 - Genre: ouvrage de référence - Niveau I1 et I2 : initiation collèges et lycées

2) "Radioastronomie", polycopié de 34 p qui reproduit les exposés d'un stage destiné aux enseignants, par J. LEQUEUX - M. GREWING.

Édité en 1974 - Genre: ouvrage de référence - Niveau: III niveau supérieur.

3) "Petite introduction à l'histoire des cosmologies depuis les origines jusqu'à la Renaissance" par A. Heyli. 30 pages.

Édité en 1977 - Genre: ouvrage de référence - Niveau I3 : initiation pour adultes.

Editeur: Centre pour le perfectionnement professionnel des professeurs de l'enseignement secondaire - Guggistrasse 7 - 6000 LUZERN 4, Postfach - SUISSE

- "Les galaxies primitives" par D. Meier et R. Sunyaev, un article dans Pour la Science de janvier 1980.

- "SS433 : où l'astronomie rejoint la science fiction" par Michel Guélin, dans La Recherche de décembre 1979.

- "L'astronomie en ondes millimétriques" par James Lequeux, un article dans La Recherche de janvier 1980.

K. Mizar

ECOLE D' ETE D'ASTRONOMIE I980 A GRASSE

Une école d'été sera organisée du 27 aout au soir, au 5 septembre à midi, aux environs de GRASSE . Son organisation sera assez voisine de celles qui se sont tenues les années précédentes : elle comprendra un enseignement théorique et un enseignement pratique . Parmi les thèmes qui seront abordés , certains recouvriront les programmes prévus pour les classes de 4° et de I° AB .

Au cours de l'enseignement théoriques on redéfinira les concepts physiques nécessaires à la compréhension de la structure des objets astronomiques ( milieu interstellaire , étoiles, galaxies, ... ). Des applications à partir de documents astronomiques seront traitées par les participants .

Pour l'enseignement pratique , les participants auront à leur disposition atelier et laboratoire photographique , leur permettant la construction d'instruments simples . Les travaux pratiques développés nécessitent peu de matériel et peuvent être facilement réalisés avec une classe ou un club

Les observations seront faites avec divers instruments : des photographies seront prises et des expériences simples de spectroscopie montées . Une visite d'Observatoire pourra être organisée durant le stage .

Le prix forfaitaire de pension au ' Mas du Calme ' est de l'ordre de 90 F par jour pour les enfants de moins de 8 ans , un demi-tarif sera appliqué ; il existe une possibilité de camping et de caravaning au prix forfaitaire de pension de l'ordre de 70 F par jour .

Le nombre de places sera limité à 60 participants , compte-tenu des possibilités de logement et d'encadrement . Les demandes seront prises dans l'ordre d'arrivée .ù Toute demande d'inscription est à adresser à :

Mademoiselle L. GOUGUENHEIM  
Radioastronomie  
Observatoire de Meudon  
92I90 MEUDON

\*\*\*\*\*

COMPTE-RENDU DE L'ECOLE D'ETE DE DIGNE I978

Des exemplaires du Compte-rendu de l'école d'été d'Astronomie qui s'est tenue à Digne du 30 aout au 6 septembre 1978 sont encore disponibles . Adresser toute commande à Madame F. DELMAS , Institut d'Astrophysique , 98 bis boulevard Arago , 750I4 PARIS . Une contribution financière de 20 F par compte-rendu est demandée ; libeller le chèque à l'ordre de Mademoiselle L. GOUGUENHEIM CCP 20936-80 V PARIS .

\*\*\*\*\*

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin du Comité de Liaison  
Astronomes - Enseignants .

Directeur de la Publication : L. GOUGUENHEIM  
Université de Paris-Sud  
Bat 426  
91405 ORSAY Cedex

Comité de Rédaction :

L. BOTTINELLI , J. DUPRE , M. GERBALDI , L. GOUGUENHEIM , G. WALUSINSKI

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

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

Dépot légal : 1er trimestre 1979 ; Numéro d'inscription à la  
Commission Paritaire des  
Publications et Agences de Presse  
6I 6IO

---

---

---