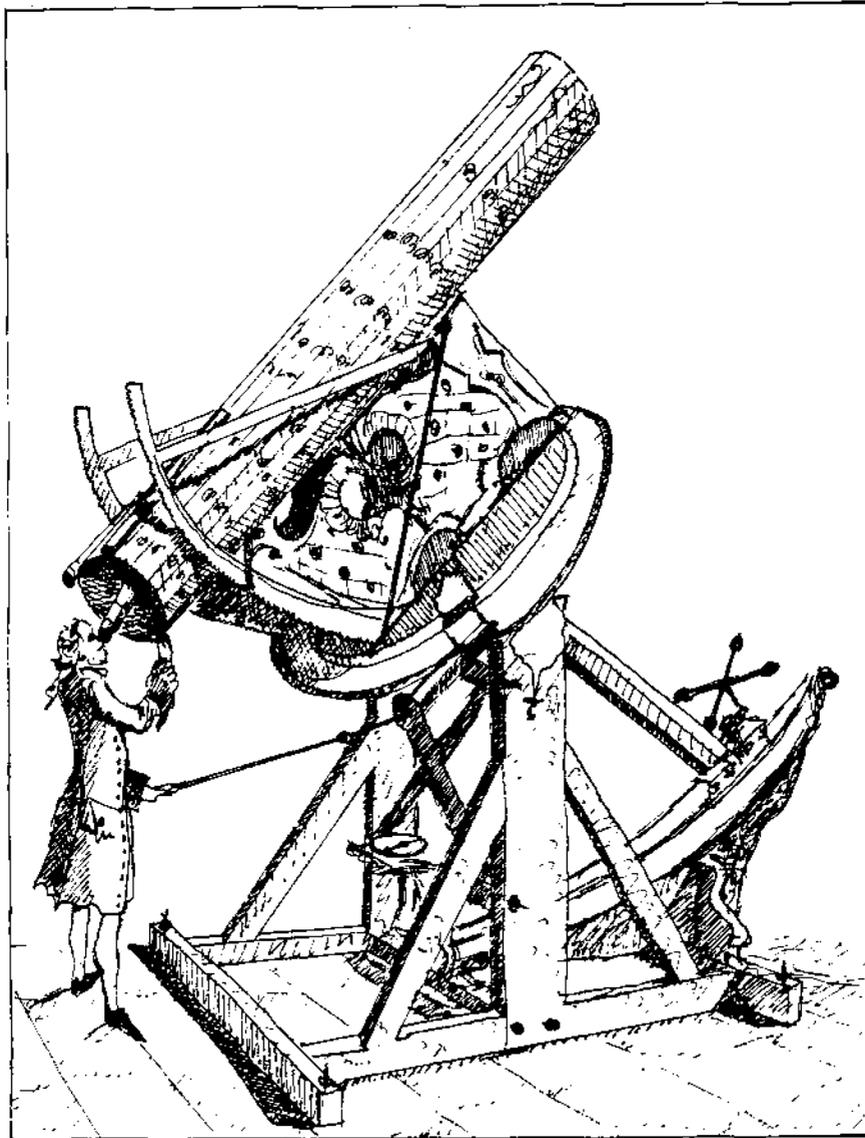


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n° 8 - printemps 1980

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 8 Printemps 1980

Le rayon Vert.....3
 Quelques détails pratiques.....5
 La réfraction Astronomique6
 Comment Photographier le Rayon Vert.....11
 Courrier des Lecteurs.....12
 Glanes18
 Un entretien avec André Brahic (suite et fin).....19
 Lectures pour la Marquise et ses amis.....32
 Stages d'Astronomie et de Météorologie C.E.M.E.A.....34

EDITORIAL

Ce numéro 8 marque le deuxième anniversaire des Cahiers Clairaut ...nés au printemps 1978 et leur troisième printemps alors que nous avons dépassé le millier d'abonnés. Avec ce numéro 8 également prend fin l'abonnement annuel; n'oubliez donc pas de nous adresser votre bulletin de réabonnement (ou d'abonnement) pour les 4 prochains numéros (9 à 12) ... après avoir lu (p5) les conseils de l'équipe de gestion. Si vous décidez de ne pas poursuivre votre abonnement faites nous le savoir également.

Nous comptons toujours sur votre collaboration pour nous faire connaître vos réalisations et vos suggestions et critiques concernant les Cahiers Clairaut.

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 12
  - s'abonner aux Cahiers Clairaut du numéro 9 au numéro 12
  - se réabonner aux Cahiers Clairaut du numéro 9 au numéro 12
  - ci-joint ma contribution financière : 15 F pour 4 numéros  
45 F pour 12 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

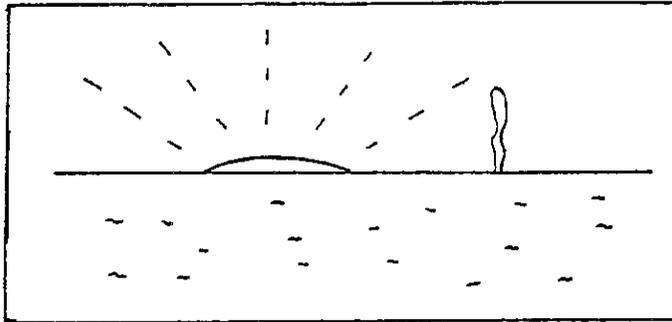
## LE RAYON VERT

Vous pouvez voir la couleur de l'espoir dans les derniers rayons du soleil couchant, tout au moins si vous avez foi en la vieille légende qui dit que sa couleur est verte. Le phénomène scientifique sur lequel repose cette superstition s'appelle le "rayon vert".\*

Le rayon vert peut être observé très facilement avec de simples jumelles à condition de le chercher le bon jour et à partir du bon endroit.

Le bon jour c'est celui où le soleil couchant reste très brillant. Quand le soleil couchant est très rouge, cela veut dire que l'atmosphère terrestre est très chargée de poussières et ces poussières obscurciront le rayon vert. Le meilleur endroit pour l'observer est le bord de la mer, mais il suffit d'avoir un horizon lointain dégagé...

Le rayon vert n'apparaît qu'au dernier moment, lorsque le disque solaire disparaît sous l'horizon. Il se présente, comme son nom l'indique, comme un éclair de couleur verte. Cet éclair peut apparaître sur le bord supérieur du soleil; plus rarement, l'éclair peut surgir de l'horizon, comme une flamme verte.



Je n'ai jamais vu le second type de rayon vert. Par contre, il est relativement facile de voir le premier, avec des jumelles, un jour clair du sommet d'une montagne. La clé de la réussite, c'est de disposer d'un horizon éloigné. Si vous êtes au sommet d'une montagne, attendant le rayon vert en regardant vers un horizon qui se limite à la montagne suivante, vous ne le verrez probablement pas. Mais si votre horizon est très éloigné, disons à environ 100 km, vos chances sont bonnes.

J'ai vu aussi le rayon vert, avec des jumelles, quand le Soleil disparaît derrière des nuages assez bas sur l'horizon. Les nuages ne doivent pas être diffus: leur bord doit être bien défini.

En réalité, le rayon vert est visible à l'œil nu. Vous n'avez pas vraiment besoin de jumelles ou d'un télescope pour le voir. Mais l'un ou l'autre de ces instruments peuvent vous aider.

Répetons une mise en garde familière: même au couchant, le Soleil est très brillant et peut abîmer vos yeux si vous le regardez alors qu'il est encore haut dans le ciel. Et en tout cas,

---

\* les lecteurs français connaissent cette légende grâce au roman de Jules Verne: "le Rayon Vert".

si vous le regardez trop tôt vous serez aveuglé et c'en sera fini pour le rayon vert ce jour là! Pour observer le rayon vert, la meilleure solution consiste à emmener un ami qui pourra vous dire de commencer à observer, juste avant la disparition du bord supérieur du Soleil à l'horizon.

Le rayon vert est vraiment un éclair. Il dure au maximum quelques brèves secondes. Ce caractère essentiellement instantané du rayon vert souffre quelques exceptions. Dans son livre remarquable "The Nature of Light and Color in the Open Air" M. Minnaert raconte comment il réussit une fois à faire durer le rayon vert. Voici ses propres phrases: "Un jour, en gravissant la pente d'une digue de 6 mètres de haut, j'ai réussi à voir le rayon vert pendant 20 secondes; il devenait tantôt plus bleu, tantôt plus blanc, suivant que mon allure était trop lente ou trop rapide". M. Minnaert rapporte également que, pendant l'expédition de l'amiral Byrd au pôle Sud, le rayon vert a pu être observé pendant 35 minutes. Ce phénomène étonnant s'est produit le jour où le Soleil réapparaissait à l'horizon pour la première fois après plusieurs mois d'obscurité. Le Soleil avait alors une trajectoire presque parallèle à l'horizon, juste un peu au-dessus, et les explorateurs ont vu sa lumière de couleur verte.

Comment le rayon vert se produit-il? D'où provient-il? On croit souvent qu'il est dû à une sorte d'image persistante, le vert étant la couleur complémentaire du rouge, couleur du Soleil couchant. Mais cette explication rencontre des difficultés. En particulier, on peut aussi voir le rayon vert juste avant le lever du Soleil, bien qu'il soit beaucoup plus difficile de savoir exactement où regarder. Autre difficulté, le rayon vert n'est visible que si l'horizon est assez éloigné. Cette condition n'existerait pas s'il s'agissait d'une image persistante sur la rétine.

La nécessité d'un horizon lointain nous fournit la clé de l'explication. Parce que l'horizon est éloigné, les rayons lumineux du Soleil ont la possibilité d'être incurvés par l'atmosphère et c'est leur courbure qui provoque le phénomène.

L'explication repose sur le fait que la lumière solaire contient toutes les couleurs de l'arc-en-ciel, depuis le rouge jusqu'au bleu. Vous pouvez voir ces couleurs séparées en regardant au travers d'un prisme. Au coucher du Soleil, nous le voyons à travers une épaisseur croissante d'atmosphère. L'air se comporte comme un prisme et sépare la lumière blanche en ses diverses couleurs.

Qu'arrive-t-il à ces couleurs? La lumière bleue est diffusée par l'air dans toutes les directions et ne parvient donc pas à nos yeux. La lumière rouge et une partie de la lumière verte suivent une trajectoire plus directe à travers l'atmosphère. Il y a plus de rouge que de vert, et c'est pourquoi le Soleil couchant est rouge.

Mais de plus, lorsque la lumière rouge et la lumière verte traversent l'atmosphère, leur trajectoire est courbée. La lumière rouge est toujours un peu moins déviée que la lumière verte.

Plus l'horizon est éloigné, plus la déviation est importante. Et lorsque nous observons le coucher du Soleil vers un horizon lointain, nous voyons en réalité deux images du Soleil à peu près superposées. L'image inférieure est rouge, puisque le rouge est moins dévié. L'image supérieure est verte.

Et voilà l'explication! Alors que l'image rouge disparaît complètement au-dessous de l'horizon, l'image verte reste encore visible pen-

dant quelques secondes. Le second aspect du rayon vert, sous la forme d'une flamme, phénomène beaucoup plus rare, est un effet de mirage.

La prochaine fois que vous camperez au sommet d'une montagne ou que vous conduirez dans le désert au coucher du Soleil, essayez de voir le rayon vert. Pour vous y inciter, souvenez-vous de la vieille légende écossaise. Elle dit que quiconque a vu le rayon vert ne souffrira plus jamais de peines de coeur!

Deborah L. BYRD  
(traduction de la rédaction)

Note de la rédaction: Cet article est reproduit avec l'aimable autorisation de la rédaction de "Mac Donald Observatory News" où il a été publié en Octobre 1979.

L'Observatoire Mac Donald de l'Université du Texas, aux U.S.A., publie chaque mois un journal d'Astronomie destiné en particulier à l'information des étudiants et de tous ceux qui s'intéressent à l'Astronomie.

.....QUELQUES DETAILS PRATIQUES QUI FACILITERAIENT LA TACHE DU SECRETARIAT.....

- 
- Ne pas envoyer de chèques directement aux C.C.P.
  - Ne pas nous envoyer de chèques sans "talon correspondance" ou lettre.
  - Ne pas dater les chèques postaux ( 2 mois sont si vite passés ! )
  - Envoyer la dernière bande pour tout changement d'adresse ou correction dans le libellé de votre adresse.
  - Préciser clairement l'adresse à laquelle vous désirez recevoir votre journal.
  - Nous signaler si vous recevez 2 (ou plusieurs) numéros à des adresses différentes.
  - Ne pas hésiter à nous écrire si votre numéro présente des erreurs de pagination, ou s'il vous manque des numéros.
  - Pour tout courrier, joindre une enveloppe timbrée, à votre adresse pour la réponse.

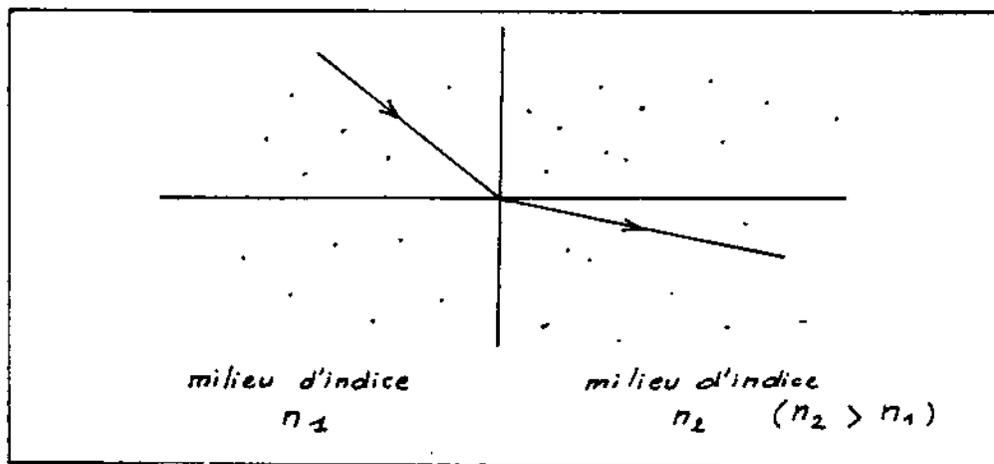
Un grand merci pour votre aide .

Pour le secrétariat  
Françoise Delmas

LA REFRACTION ASTRONOMIQUE

La forme apparente du Soleil au couchant - Le Rayon Vert.

Pour nous parvenir, le rayonnement émis par une étoile doit se propager dans deux milieux différents: le milieu interstellaire qui peut alors être assimilé au vide, et l'atmosphère terrestre. Ces milieux ayant des indices de réfraction différents, la trajectoire du rayonnement subit une déviation à la frontière entre ces deux milieux suivant les lois de la réfraction,



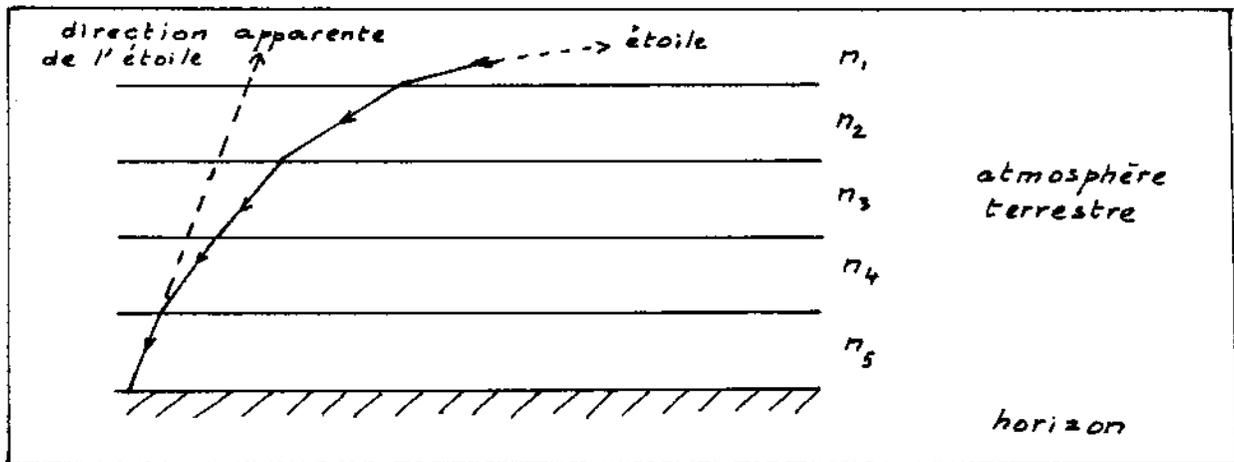
Pour comprendre les effets de la réfraction astronomique, nous ne pouvons pas assimiler l'atmosphère terrestre à un milieu d'indice unique, car l'atmosphère est formée de couches dont la densité croît vers le sol, et qui ont des compositions chimiques et des températures fonctions de l'altitude. En conséquence, l'indice de réfraction de l'atmosphère terrestre est variable avec l'altitude.

Les effets de la réfraction atmosphérique sont plus ou moins accentués selon l'épaisseur d'atmosphère traversée.

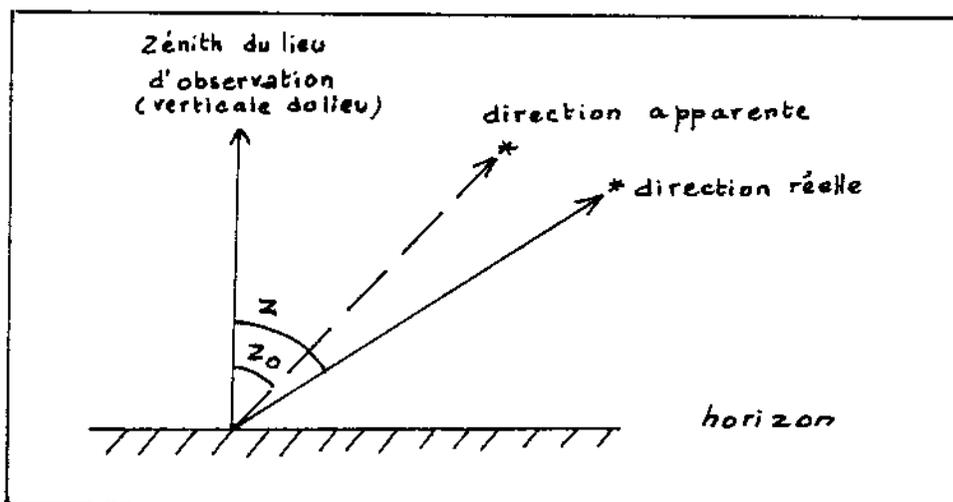
L'effet de la réfraction atmosphérique sur la position apparente des astres.

La réfraction atmosphérique a tout d'abord pour effet de modifier les positions apparentes des étoiles par rapport à la direction vers laquelle on les observerait s'il n'y avait pas d'atmosphère, en provoquant une courbure de la trajectoire des rayons lumineux.

La figure ci-dessous montre cette trajectoire dans le cas où l'on représente l'atmosphère terrestre par un empilement de couches d'indices différents.



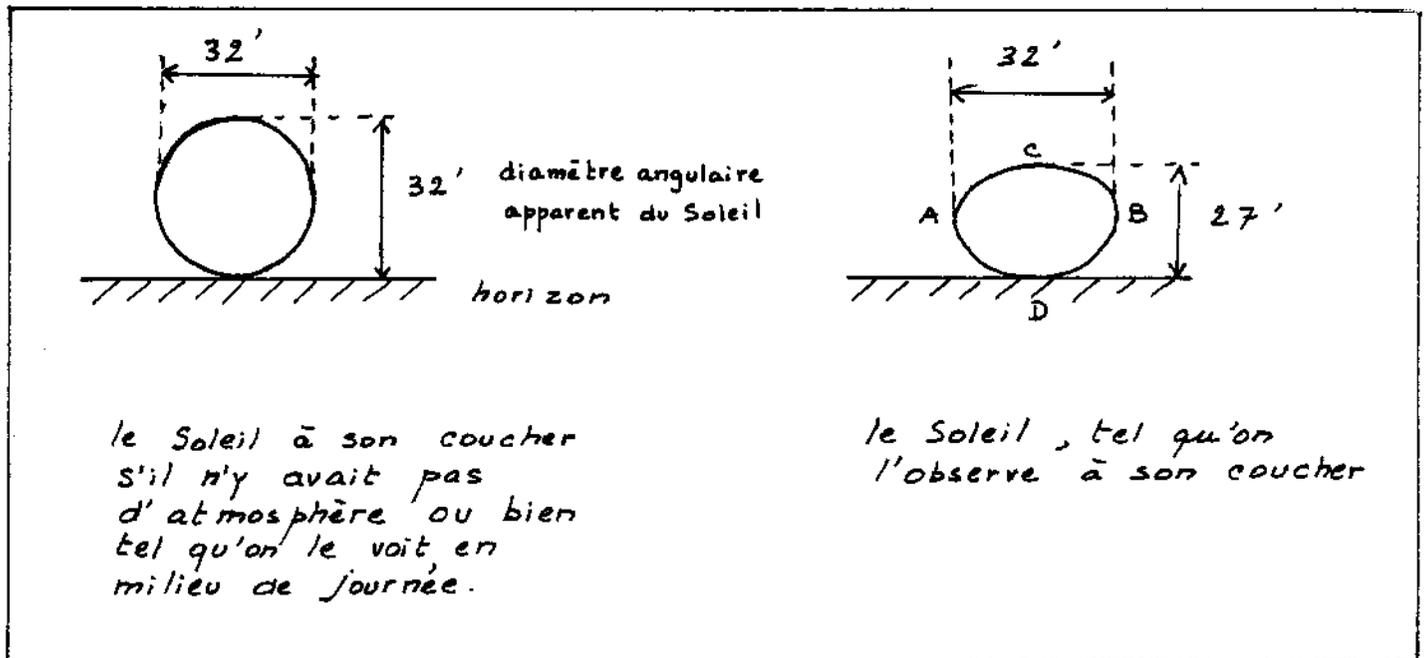
On voit ainsi sur ce schéma que la réfraction atmosphérique nous fait apparaître une étoile plus haute au-dessus de l'horizon qu'elle ne l'est en réalité, parceque les couches de plus fort indice sont les plus basses. Cet effet ne devient important que pour des étoiles basses sur l'horizon, puisque c'est dans ce cas que l'épaisseur d'atmosphère traversée est grande.



On observe un astre de distance zénithale  $z$  à la distance zénithale apparente  $z_0$ . La différence  $(z - z_0)$  est donnée dans le tableau suivant pour quelques valeurs de  $z_0$ .

| $z_0$ (en degrés) | $z - z_0$ (en secondes d'arc) |
|-------------------|-------------------------------|
| 10                | 10                            |
| 30                | 34                            |
| 50                | 70                            |
| 60                | 101                           |
| 70                | 215                           |
| 80                | 319                           |
| 85                | 593                           |

Il est possible d'observer à l'oeil nu l'effet de la réfraction pour les objets bas sur l'horizon: celle-ci se manifeste de façon spectaculaire par l'aplatissement du disque solaire au moment de son coucher, lorsqu'on dispose d'un horizon dégagé pour l'observer.



La distance angulaire entre les points A et B sera toujours de 32', que l'on fasse ou non intervenir la réfraction atmosphérique, car ces deux points ont la même distance zénithale: on doit donc leur apporter la même correction de réfraction. On a:

$$\text{tg } 32' = \text{diamètre du Soleil} / \text{distance Terre-Soleil}$$

Par contre, les points C et D ont des distances zénithales séparées de 32'; la correction due à la réfraction n'a pas la même valeur pour le point C et pour le point D. Ainsi les positions apparentes des points C et D varient-elles différemment. Au ras de l'horizon, les points C et D ne sont plus séparés que de 27', d'où l'aplatissement observé.

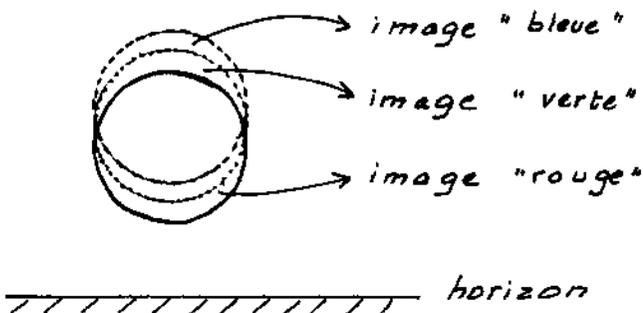
Il est intéressant de noter que lorsque le point D affleure à l'horizon, c'est-à-dire  $z_0 = 90^\circ$ , on a  $z \simeq 90^\circ 35'$ , c'est-à-dire que ce point est en réalité sous l'horizon.

Dispersion du rayonnement due à l'atmosphère terrestre.

L'indice de réfraction  $n$  étant fonction de la longueur d'onde, la réfraction atmosphérique est un effet chromatique. Si nous comparons les positions apparentes de deux étoiles de même distance zénithale  $z$ , l'une n'émettant que de la lumière bleue et l'autre de la lumière rouge, elles seront séparées de telle sorte que l'étoile bleue aura une distance zénithale observée  $z_0$  plus petite que l'étoile rouge.

Mais le rayonnement d'une étoile est en réalité formé de radiations de différentes longueurs d'onde. Par conséquent la réfraction atmosphérique dispersera ce rayonnement, le bleu étant en haut et le rouge en bas. Ce spectre est d'autant plus étalé que l'étoile est basse sur l'horizon. L'atmosphère agit comme un prisme. C'est ce phénomène, appliqué au Soleil, qui est à l'origine du "Rayon Vert".

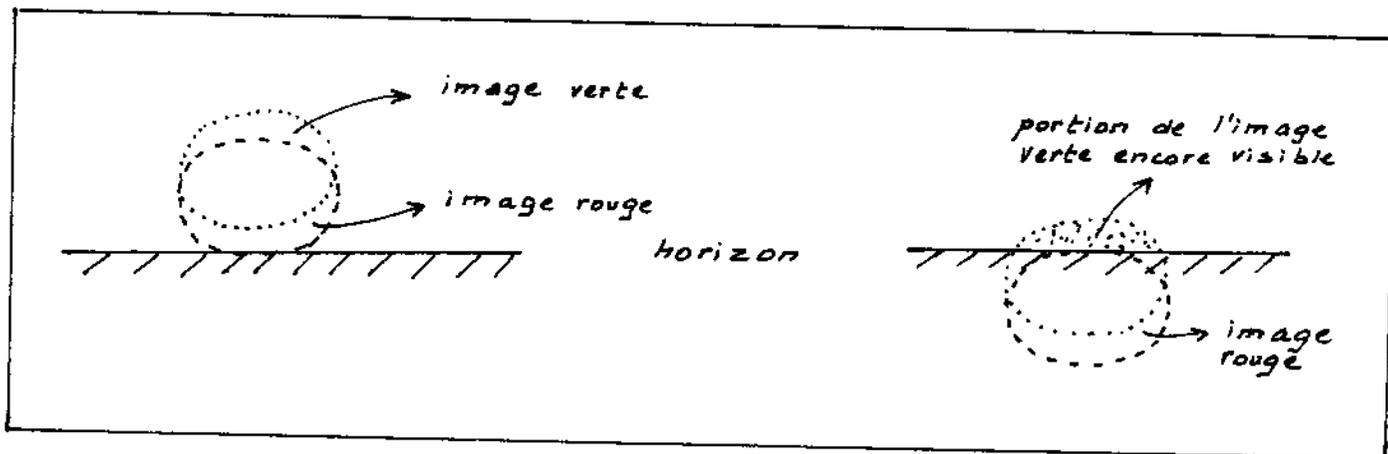
L'atmosphère terrestre forme du Soleil une image étalée. Cette dispersion, extrêmement faible, ne peut pas s'observer, car le disque solaire trop lumineux nous éblouit, mais aussi parce que l'étalement de l'image n'est que de quelques secondes d'arc; la lumière solaire nous apparaît habituellement comme étant "blanc-jaune" car l'oeil ne sépare pas ces différentes images.



*Dispersion due à l'atmosphère terrestre (dessin non à l'échelle)*

*(Compte-tenu des propriétés dispersives de l'atmosphère terrestre et de la sensibilité chromatique de l'oeil, on peut assimiler le rayonnement solaire visible à une somme de lumière bleue, verte et rouge)*

Lorsque le Soleil est très bas sur l'horizon, cet effet peut atteindre plusieurs secondes d'arc: par exemple la séparation entre l'image du Soleil formée par le rayonnement à 5 000 Å et celle formée par le rayonnement à 6500 Å vaut environ 15" pour une distance zénithale apparente de 89°5. Dans ce cas, l'image "bleue" du Soleil a une intensité très faible, car l'importante épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement solaire a produit une très forte diffusion du rayonnement bleu: le Soleil nous apparaît fortement rougi.



Quand l'image "rouge" du Soleil a totalement disparu sous l'horizon, une toute petite portion de l'image "verte" subsiste au-dessus de l'horizon et comme nous ne sommes plus éblouis par le disque solaire, elle devient alors observable. Il arrive parfois que ce bord supérieur du Soleil de couleur verte soit visible alors qu'une partie du disque solaire est encore au-dessus de l'horizon.

Ce phénomène peut être observé pendant 2 ou 3 secondes environ. C'est ainsi que le fameux rayon vert se manifeste le plus souvent. Par suite des propriétés de la réfraction atmosphérique, et des phénomènes de mirage qui peuvent se créer, il arrive qu'on voit surgir de l'horizon comme un éclair vert, juste après que le Soleil ait disparu sous l'horizon. Il est rare de pouvoir observer cette seconde manifestation du Rayon Vert.

De par la nature du Rayon Vert, on comprend qu'il soit aussi observable au moment du lever du Soleil.

Les effets de l'atmosphère terrestre, ici présentés sur l'image du Soleil, ne sont qu'une approche simplifiée de la réalité comme on peut s'en convaincre aisément en regardant les extraordinaires dé-



COURRIER DES LECTEURS

dans cette rubrique, nous faisons écho à toute question posée par un lecteur, à toute expérience réalisée dans des classes. S'il faut répondre, nous essayons de le faire nous-mêmes ou bien nous sollicitons l'aide d'autres lecteurs. Pour participer au dialogue, écrire au responsable de la rubrique, Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 Saint-Cloud.

1. Position du pôle Nord en 1980

\*\*\*\*\* Les lecteurs des Cahiers

auront rectifié d'eux-mêmes une coquille typographique, p 20 du Cahier 6 : on trouve l'Etoile Polaire en prolongeant la ligne des Gardes de la Grande Ourse de cinq fois leur distance. Grâce aux Ephémérides 80 du Bureau des Longitudes qui donnent les coordonnées équatoriales de la Polaire pour le passage supérieur au méridien international, on trouve que ses coordonnées équatoriales moyennes sont :

$$\alpha = 2 \text{ h } 12 \text{ mn} \quad \delta = 89^\circ 11'$$

En reportant ce point sur une carte céleste et en cherchant des alignements pratiques pour l'observateur, on obtient le tracé de la figure 1. Pour les passages supérieurs de la Polaire, Arcturus est malheureusement sous l'horizon pour nos latitudes ; on a donc recours aux autres alignements indiqués sur le dessin. Pour les passages inférieurs, Arcturus est très pratique.

Le pôle céleste est situé à proximité de la Polaire (à  $0^\circ 49'$ ). Pour l'obtenir on joint la Polaire à Arcturus ; le pôle est sur cette ligne, du côté d'Arcturus à  $49'$  de la Polaire, distance très exagérée sur le dessin. Noter que cette ligne passe au delà de  $\eta$  Grande Ourse et au voisinage de  $\gamma$  Andromède, de  $\alpha$  Bélier, de Mira de la Baleine et de  $\varepsilon$  Cassiopée.

Jean-Paul Rosenstiehl

animateur du Club d'Astronomie de l'Université du Maine

---

Un problème gastronomique : quand on est au pôle Nord de la Terre, comment sait-on qu'il est midi ?

[Aux auteurs des meilleures réponses, la rédaction des Cahiers offre une photo du pôle Sud à la même heure.]

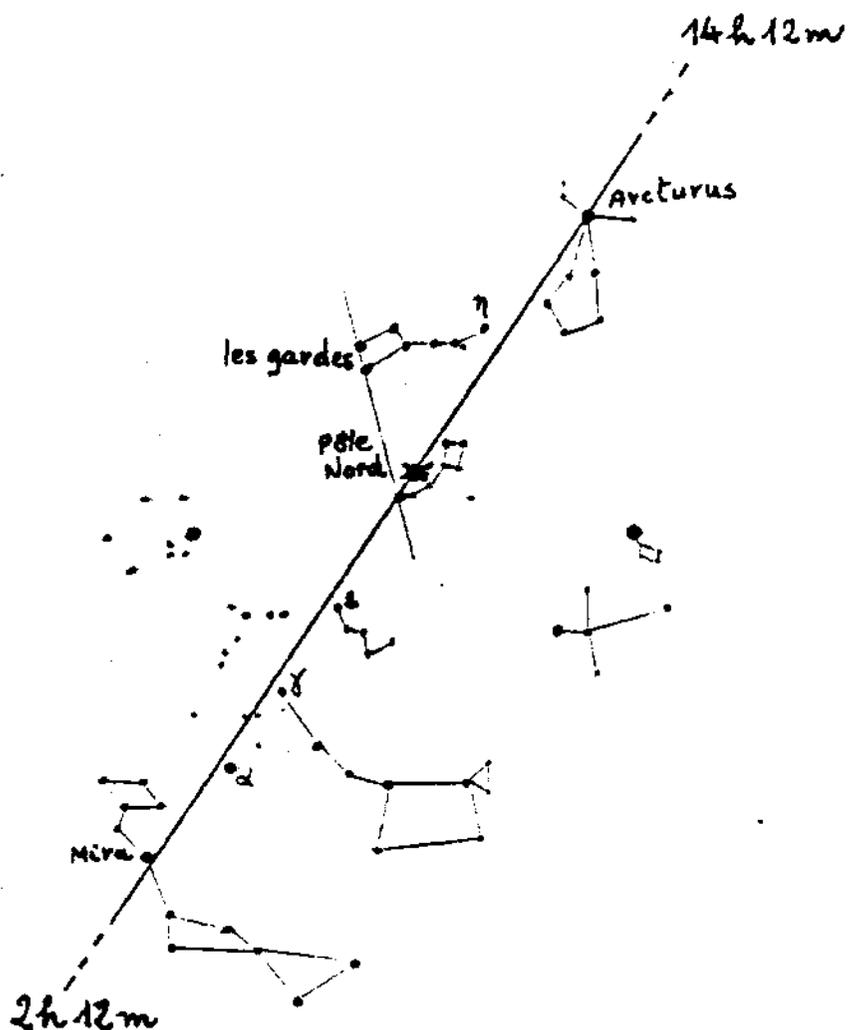


fig 1

## 2. Un altimètre céleste et la mesure de la latitude

On se propose de mesurer à un instant donné  $t_m$  la hauteur  $h$  d'une étoile (angle de la direction de l'étoile et du plan de l'horizon du lieu d'observation. Comme la Terre tourne, il ne faut pas perdre du temps ! Si on en a de reste, on peut étudier la variation de  $h$  en fonction de  $t_m$ ...

L'altimètre céleste (voir fig 2) : une planche rectangulaire avec fil à plomb ; graduations en mm ; la planche est mobile autour d'un axe horizontal (vérifier au niveau à eau) Si le fil à plomb coïncide avec AB, le chercheur doit être horizontal (à vérifier sinon agir sur la vis de réglage  $v$  du chercheur). Quand l'étoile visée est à la croisée des fils du réticule, on note l'instant  $t_m$  et la longueur BC ;

la hauteur  $h$  de l'étoile est donnée par

$$\operatorname{tg} h = BC/AB \quad (\text{nous avons pris } AB = 200 \text{ mm})$$

Utilisation à la mesure de la latitude (voir fig 3). La latitude du lieu d'observation est l'angle de la verticale locale avec le plan de l'équateur terrestre ; elle est égale à la hauteur du pôle céleste au lieu considéré. On commence par mesurer la hauteur de la Polaire avec l'altimètre. La Polaire  $E$  décrit un cercle de rayon  $49'$  autour du pôle  $PN$ . Les éphémérides donnent les instants des passages supérieurs de  $E$ . Soit  $E$  la position de la Polaire à l'instant  $t_m$  ; la différence avec  $t$  instant du passage permet le calcul de l'angle  $\beta$ . La latitude est alors  $\varphi = h - 49' \cos \beta$

N.B. 1) La réfraction atmosphérique est nettement inférieure aux erreurs de mesure, donc on n'en tient pas compte. 2) Il faut une lampe de poche pour éclairer les graduations ; il faut aussi se garer du vent ! Plusieurs membres du club ont réalisé cette mesure de la latitude ; résultats très encourageants.

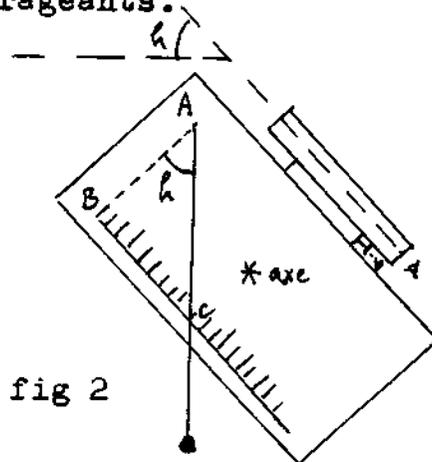


fig 2

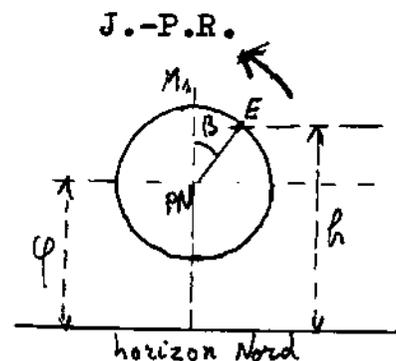


fig 3

### 3. Réfraction atmosphérique et coucher de Soleil

La réfraction atmosphérique a pour effet de relever les astres au-dessus de l'horizon ; une étoile vue dans la direction  $Oy$  de hauteur  $h$  se trouve en fait à une hauteur  $h'$  et  $h' = h - R$  où  $R$  est la correction de réfraction (donnée par les Ephémérides 80, à la page 37). Cet effet est évidemment le plus sensible au voisinage de l'horizon et il affecte seulement  $h$ , non l'azimut.

[pour  $h' = -1^\circ$ ,  $R = 56'28''$  ;  $h'=0$   $R = 36'36''$  ;  $h'=80^\circ$   $R=11''$ ]

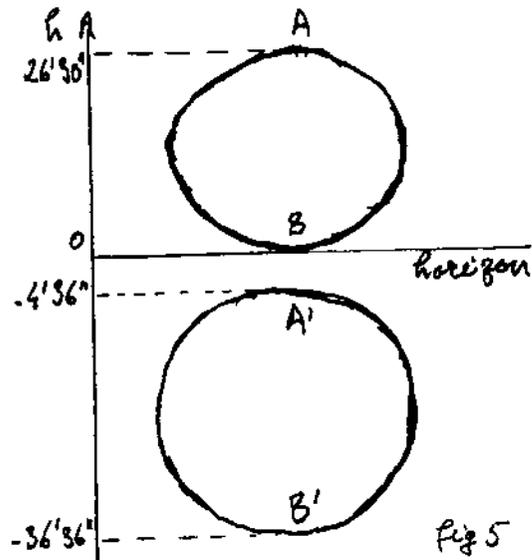
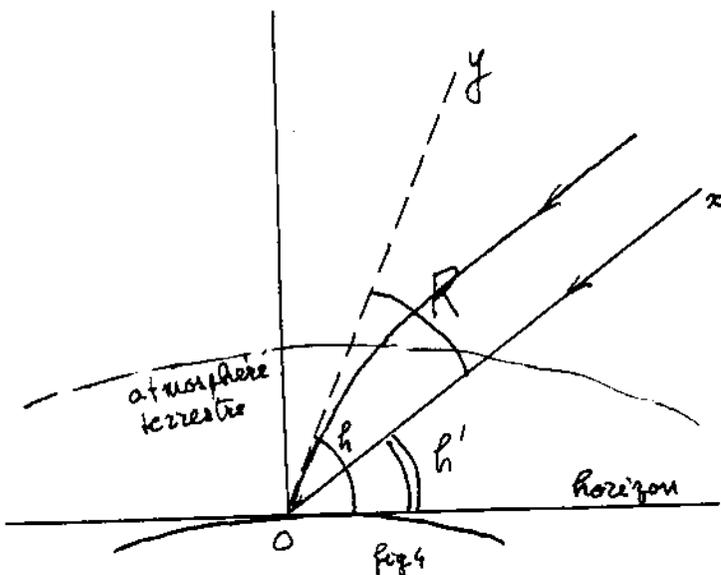
Question pour nos élèves : justifier la forme aplatie du Soleil à l'horizon (lever ou coucher) en utilisant un extrait de

la table citée :

| h   | R      | h'      |
|-----|--------|---------|
| 0'  | 36'36" | -36'36" |
| 10' | 34 19  | -24 19  |
| 20' | 32 14  | -12 14  |
| 30' | 30 21  | -00 21  |
| 40' | 28 38  | +11 22  |

Réponse : quand on voit le bord supérieur du Soleil à l'horizon en B (fig 5), ce bord inférieur est en réalité en B'. Puisque le Soleil a un diamètre apparent de 32', son bord supérieur est en A' de hauteur -4'36" ; ce bord est vu en A dont on calcule la hauteur apparente h par interpolation de la table ci-dessus. Quand le Soleil est tangent à l'horizon, horizontalement son diamètre apparent reste de 32' alors que verticalement il n'est plus que de 26'30" soit un aplatissement de 17%.

Bernard Perillat, professeur de mathématiques au lycée Frédéric Fays à Villeurbanne.



N.D.L.R. Levers et couchers du Soleil tels qu'ils sont indiqués dans les Ephémérides sont définis par l'apparition ou la disparition du bord supérieur du Soleil (et non du centre du disque apparent), compte tenu de la réfraction. Il en résulte que le jour de l'équinoxe (jour où la déclinaison du centre du Soleil est nulle), la durée du jour n'est pas égale à celle de la nuit, contrairement au sens du mot équinoxe).

Exemple : ce 20 mars 1980, équinoxe à 11h 10 mn 20 s (UT); à Paris, lever 5h55, coucher 18h02 ; durée du jour 12h07mn ; alors que le 18 mars, déclinaison du Soleil -0°47', lever 5h59, coucher 17h59, durée du jour 12 h.

Sur l'équateur de la Terre, du fait de la réfraction, la durée constante du jour est environ 12 h 05 toujours supérieure à celle de la nuit.

4. Un projet antique et actuel

\*\*\*\*\* "Mes élèves du club d'astronomie (élèves de 4<sup>ème</sup> et de 3<sup>ème</sup>) m'ont demandé de refaire la mesure du rayon de la Terre à la manière d'Eratosthène. Pour cela, nous avons besoin de faire équipe avec une classe loin de Toulon, de préférence sur le méridien 6° Est entre Besançon et Thionville. Ecrire à Jean Ripert, collègue avenue du 6<sup>ème</sup> RTS, 83120 SOLLIES-PONT."

5. Des nouvelles de nos correspondants

\*\*\*\*\* + Le club d'astronomie de l'Université du Maine nous envoie ses voeux avec cette photo



et la légende : "Le coq observe le mouvement diurne, son sens et sa valeur" (14 poses successives de 1 s espacées de 2 mn prises le 19791122).

+ Liliane Sarrazin qui fut stagiaire à l'école d'été 79 de Grasse lance un club d'astronomie au collège Calmette de Limoges où elle enseigne. Bravo et bonne chance !

+ Raymond Hernandez, un des fidèles des écoles d'été, a créé un club d'astronomie à Auxerre où il enseigne. Une conférence et une exposition ont donné un bon départ au club auquel la presse locale a fait le meilleur accueil.

## 6. Limoges - 19800307-08

===== L'IREM de Limoges a eu l'heureuse idée de réunir à ces dates un colloque inter-IREM sur l'enseignement de l'astronomie et sa coordination avec les enseignements de math et de physique. Un remarquable succès du, non seulement à l'intérêt du thème mais aussi et peut-être surtout à la préparation et au travail de l'animateur du groupe astronomie de l'IREM de Limoges, Christian Dumoulin. Plus de cent participants ont discuté longuement et assidument des moyens théoriques et pratiques d'initier les jeunes à l'astronomie, au Collège, au Lycée ou dans des clubs. Il y a eu échange d'informations, témoignages de réalisations très diverses dont les responsables sont des enseignants de math ou de physique ou bien encore des animateurs de clubs, des animateurs des CEMEA. Des astronomes, Michèle Gerbaldi (de Paris), Jean-Louis Heudier (de Nice) François Joly (de Bordeaux) ont prononcé des conférences animées par des questions qui témoignaient de l'intérêt qu'y prenait l'auditoire.

L'indifférence manifestée, si l'on ose s'exprimer ainsi, par les responsables de l'Education à l'égard de l'enseignement de l'astronomie contraste avec le travail et les initiatives de ceux qui enseignent "pour de vrai". La cause de l'enseignement de l'astronomie est donc en bonnes mains et le travail du groupe de Christian Dumoulin portera ses fruits.

## 7. Temps moyen et horloge parlante

===== Mademoiselle Débarbat, astronome à l'Observatoire de Paris, nous fait remarquer (à propos de la note sur temps sidéral et temps universel, Cahier 7, p.33) qu'il n'est pas possible d'obtenir du temps moyen à partir de l'horloge parlante.

Précisons en effet que cette horloge parlante diffuse le temps UTC + 1 h ou UTC + 2 h selon les époques de l'année, c'est à dire le temps légal en France. UTC désigne le temps universel coordonné qui a les qualités métrologiques du TAI et s'écarte de UT1 de 0,9 s au plus. TAI, temps atomique international est l'échelle de temps la plus régulière qu'on sache réaliser ; mais TAI n'est pas d'origine

astronomique, comme son nom l'indique. Au contraire UT1 ou temps universel indice 1 repose sur la rotation de la Terre et peut être considéré comme une mesure angulaire de la rotation de la Terre.

En bref, l'horloge parlante, en nous donnant UTC (+1 ou +2) nous donne, à une ou deux heures près et à moins de 1 seconde près le temps universel c'est à dire le temps civil de Greenwich. Le temps moyen de ce même haut-lieu astronomique s'en déduit par soustraction de 12 h.

Ces précisions étaient indispensables mais ne changent rien au reste de la note du Cahier 7.

---

GLANES + Dans la présentation de la nouvelle édition des "Relations de voyage autour du monde, 1768-1779" par James Cook, les éditions Maspero écrivent : "Le premier voyage en 1768 et 1769 avait pour but officiel de participer à la campagne de mesure de la distance du Soleil au moment de l'éclipse de Vénus en 1769." L'éclipse ? Evénement rarissime en effet....

+ Avant 1914, les stratèges du Café du Commerce disaient "La question d'Orient est la bouteille à l'encre qui mettra le feu aux quatre coins du monde." Le 20 janvier 1980, Bernard-Henri Lévy, "philosophe en croisade" comme le définissait Le Monde qui l'interviewait, déclarait que sans lui et ses amis, la plainte des génocidés du Cambodge "aurait mis quelques années-lumière à crever le mur du son de notre indifférence". Comme on le voit, le bon style ne se perd pas, il se perfectionne !

+ La nouvelle année 1980 a donné lieu à un débordement de déclarations dont certaines très officielles sur la nouvelle décennie. L'un de ces orateurs dont les méchantes langues disent qu'il ne pense qu'à 1981, a-t-il voulu nous prouver le contraire ? Il a perdu une occasion de se taire, la neuvième décennie du siècle commence bien le 1<sup>er</sup> janvier 1981.

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

Dans la première partie de cet entretien (Cf Cahier N°7), André Brahic nous a résumé les objectifs des missions Voyager et les premiers résultats obtenus au moment du survol de Jupiter. Avec ceux-ci, Voyager 1 avait rempli sa mission initiale d'exploration de Jupiter. L'environnement de la planète devait, de surcroît, apporter de nombreuses surprises.

La nuit sur Jupiter En passant derrière Jupiter par rapport au Soleil, Voyager put photographier ce qu'est la nuit sur la planète. Document étrange : le limbe est irisé d'une lueur d'intensité non uniforme ; dans le disque sombre de la planète, apparaissent des taches blanches éclatantes (photo prise le 5 mars à 515 000 km de la planète, six heures après l'approche minimale). Une seule interprétation possible : sur le limbe, ce sont des lueurs d'aurore boréale plus brillantes qu'on en vit jamais sur Terre, le pôle Nord de Jupiter étant approximativement au milieu de l'arc du limbe éclairé par l'aurore. Quant aux taches blanches, ce sont de formidables décharges électriques bien plus puissantes que les éclairs observés dans l'atmosphère terrestre. On soupçonnait leur existence ; on ne s'attendait pourtant pas à en observer de cette importance dans la haute atmosphère de la planète.

L'anneau Alors que toutes les autres photos étaient faites à la fraction de seconde, il fut décidé de faire une pose longue (11 minutes 12 secondes) au moment où Voyager 1 traversait le plan équatorial de Jupiter. Le but était de détecter, s'il existait, un satellite plus proche de la planète que Amalthée lui-même (dont la distance au centre de Jupiter n'est pourtant que 2,52 rayons de la planète). On se décida à viser à peu près au milieu entre la planète et l'orbite d'Amalthée.

Par une chance extraordinaire, la photo montre le bord d'un anneau très fin non observable directement depuis la Terre. Son épaisseur est inférieure à 30 km (résolution limite de la photo à cette distance de la planète) ; à côté

de la planète brillante, on ne pouvait le déceler.

Pourtant, lorsque Pioneer 10 avait traversé le plan équatorial de Jupiter à la distance de 1,44 rayon de la planète, l'instrument détecteur de particules avait décelé une discontinuité. Deux astronomes l'avait interprétée par la présence d'un petit satellite ou peut-être d'un anneau.

La photo prise par Voyager 1 ayant montré clairement l'existence de l'anneau, le programme de Voyager 2 fut modifié, à la dernière minute, pour photographier l'anneau avec une meilleure résolution. Les photos prises le 10 juillet, alors que Voyager 2 était à 1,5 million de km de la planète et derrière elle sont très révélatrices ; le Soleil paraît donc éclipsé par la planète dont seul un bord lumineux apparaît ; l'anneau, lumineux par diffusion, se détache finement sur le fond du ciel. Sur certaines photos prises par Voyager 2, on distingue un anneau d'environ 6 000 km de largeur avec un bord extérieur brillant de 800 km de largeur et qui culmine à 55 000 km au-dessus de la cime des nuages joviens (rayon de Jupiter 71 400 km). On devine la présence de matériaux à l'intérieur et à l'extérieur de l'anneau et dans son plan. Le fait que l'anneau soit très lumineux par diffusion indique la présence de particules de petites tailles (de l'ordre du micron à quelques millimètres) mais il y a aussi, probablement, des particules de plus grande taille. L'effet du rayonnement solaire élimine les particules de petite taille en un temps court par rapport à l'âge du système solaire ; il faut donc trouver une source de particules près de Jupiter.

Les anneaux de Saturne avaient longtemps intrigué par leur caractère unique. Après la découverte des anneaux d'Uranus, celle d'un anneau autour de Jupiter amène à considérer comme naturelle la présence d'anneaux autour d'une planète géante. Un disque autour d'une masse centrale est en effet une structure commune dans l'Univers comme en témoignent les galaxies spirales et les disques d'accrétion autour des objets compacts (étoiles à neutrons ou trous noirs).

Amalthée Les photos prises par Voyager 1 à 425 000 km d'Amalthée montrent que ce petit satellite (découvert en 1892 par Barnard à la suite de longues nuits d'observation) est un rocher allongé de 265 km de long et 150 km de diamètre, de forme irrégulière marquée par des impacts. Le grand axe reste dirigé vers la planète.

C'est la première fois qu'on photographie un objet de forme irrégulière aussi gros et d'aussi près (Phobos et Deimos sont beaucoup plus petits : 27 et 15 km). La théorie confirme que l'accrétion de matériaux ne conduit à la forme sphérique qu'à partir d'un diamètre de l'ordre de 500 km.

Io Ce sont les documents sur Io, le premier des satellites galiléens, qui ont été les plus surprenants. Rappelons que dans les télescopes terrestres, aucun détail ne pouvait être dessiné avec certitude sur aucun des quatre gros satellites. Grâce aux Voyager, on peut dire qu'on les connaît aussi bien que la Lune vue au télescope depuis la Terre, tout au moins quant à l'apparence ; et chacun des quatre a sa personnalité !

Celle de Io est la plus extraordinaire. Les astronomes hésitèrent dans l'interprétation des images obtenues : les couleurs, l'aspect complexe d'une étrange pizza. Une mesure faite sur une photo du limbe apporta une réponse : un appareil automatique devait suivre le limbe pour préciser la position du satellite sur le fond des étoiles (l'objectif de la mesure était donc un problème de mécanique céleste) ; devant un détail, l'appareil s'arrête, il ne distingue plus le bord net de l'image ; en effet, se détachant sur le fond noir du ciel, une éruption lance un flot de gaz à plus de 200 km au-dessus de la surface : il s'agit bien d'un volcan, retrouvé sur d'autres clichés. [Ainsi va la découverte : on trouve un volcan alors qu'on se préoccupait de mécanique céleste...]

En fait, Voyager 1 a découvert huit volcans en activité sur Io. Parmi les sept qui ont pu être revus par Voyager 2, quatre mois après, six étaient encore en activité. La surface de Io serait la plus active de tout le système solaire. C'est la surface la plus jeune de tous les corps connus du système solaire. Ces volcans se présentent comme des trous

dans un sol composé de produits sulfurés, de  $SO_2$  en particulier, qui concourent à donner aux images obtenues ces colorations rouges, orangées et noires.

Ici doit être citée l'histoire du travail d'un astronome américain, Peale, spécialiste de mécanique céleste, connu en particulier par ses travaux sur les effets de marée. Se proposant de vérifier ceux-ci sur Jupiter et ses satellites, cela l'amena à des conclusions inattendues. Partant du fait que l'excentricité de l'orbite de Io est pratiquement nulle, son attention fut attirée par des très faibles variations de celle-ci, de l'ordre de 0,0014, par un phénomène de résonance avec les autres satellites galiléens. En raison de la proximité de Jupiter et de sa masse, les faibles variations de distance de Io à la planète devaient entraîner des effets de marée très importants. Peale calcula l'échauffement résultant et le trouva si grand qu'il en déduisit qu'on devrait retrouver à la surface de Io des traces d'activité volcanique.

Cette recherche avait lieu en 1978 et Peale savait que Voyager 1 passerait près de Io le 5 mars 1979. Il réussit à trouver une revue scientifique américaine, Science, pour publier dans un délai exceptionnellement rapide ses calculs et sa conclusion formulée d'ailleurs très prudemment : "Io pourrait bien ne ressembler à aucun autre corps céleste et manifester à sa surface quelques traces d'activité volcanique." L'article parut dans le numéro de Science du 2 mars. Le 5, Voyager 1 photographiait des volcans sur Io. On est tenté de reprendre le mot d'Arago sur Le Verrier : "Peale a découvert les volcans de Io au bout de sa plume!"

Europe, Ganymède et Callisto Bien qu'a priori moins spectaculaires, les trois autres satellites galiléens présentent de nombreux phénomènes inattendus.

Europe, le plus brillant, est recouvert par une couche de glace probablement peu épaisse (au plus 100 km) fracturée en de nombreux endroits. C'est le seul corps connu du système solaire sur lequel on ne distingue ni montagnes ni cratères. L'effet de marée doit entretenir, sous la couche de glace une certaine chaleur, dix fois moindre toutefois qu'à la surface de Io.

Ganymède, le plus gros satellite de Jupiter (une fois et demi le rayon de la Lune) montre l'imbrication complexe de sols brillants et jeunes et de sols sombres et anciens. On distingue à sa surface d'étranges fractures et vallées parallèles un peu comme si un jardinier y avait passé un rateau géant. On distingue aussi des failles plus importantes que la faille de San Andreas, ce qui pourrait indiquer la présence d'une activité tectonique.

Callisto, le plus éloigné des quatre par rapport à Jupiter, est le plus marqué par les impacts ; sa surface est la surface la plus ancienne jamais observée dans le système solaire, son sol est saturé de cratères d'impacts qui se recouvrent les uns les autres.

Rappelons que chacun des satellites galiléens garde la même face dirigée vers la planète. De ce fait, c'est toujours la même région du satellite qui se trouve en avant sur son orbite et se trouve donc plus exposée au bombardement des météorites. Mais le fait le plus marquant est la diversité de ces quatre satellites galiléens alors qu'on s'attendait à trouver des corps à peu près semblables. On peut, en particulier, se demander pourquoi Ganymède et Callisto qui sont de tailles et de densités comparables ( $1,9 \text{ g/cm}^3$ ) ont des surfaces aussi différentes.

La magnétosphère de Jupiter Elle est la plus importante et la plus active des structures semblables dans le système solaire. L'existence du fort champ magnétique de Jupiter a pour conséquence la présence en son voisinage d'un plasma ionisé, chaud, actif et de structure très complexe qui réagit en permanence avec le vent solaire. La queue de la magnétosphère de Jupiter s'étend au delà de l'orbite de Saturne. Les satellites galiléens et l'anneau baignent dans cette magnétosphère. L'interaction complexe de ce plasma et de ces satellites est à étudier. En particulier, Io se déplace dans un tore d'hydrogène, d'hélium, de soufre et de potassium qui interagit avec la magnétosphère et qui est probablement alimenté par les volcans de Io.

Le quinzième satellite Enfin, les sondes Voyager ont identifié un quinzième satellite de Jupiter qui a reçu la désignation provisoire 1979J1. Est-ce d'ailleurs bien le quinzième ? Après la série des Léda, Himalia, Lysithea et Elara (à 11 millions de km de Jupiter), Ananke, Carme, Pasiphae et Sinope (entre 20 et 24 millions de km), Kowal en avait découvert un quatorzième qui n'a pas été revu. En tout cas, quatorzième ou quinzième, les sondes qui visiteront Jupiter dans l'avenir découvriront certainement d'autres petits objets de ce genre.

°°°

Ayant ainsi passé en revue les premières acquisitions dues aux sondes Voyager, André Brahic a bien voulu nous dire quelques mots sur la planétologie d'aujourd'hui et sur quelques projets d'exploration spatiale.

La planétologie S'il est une science en pleine évolution, c'est bien la planétologie. Après une longue période caractérisée par les lents progrès dus à des observateurs d'une grande habileté, les nouveaux moyens d'investigation, en particulier les sondes planétaires, ont permis de recueillir des données en très grand nombre qu'il faut, maintenant, interpréter. Ce travail est par essence pluridisciplinaire ; l'astronome reste maître d'oeuvre mais il a besoin du géologue, du météorologue, du chimiste, du géophysicien, du sismologue... Et même du biologiste, le problème de l'apparition de la vie sur la Terre restant, pour le moment, un exemple unique. Si on trouvait sur une planète ou un satellite un certain nombre de conditions réunies : un sol dur, une atmosphère, du méthane (donc des molécules déjà assez complexes), en pourrait y chercher des chaînes d'atomes encore plus complexes, c'est à dire un des premiers maillons vers l'apparition de la vie. Cela sera-t-il possible quand les Voyager passeront près de Titan ?

Intérêt méthodologique de la planétologie actuelle D'abord, personne n'y est vraiment spécialiste du fait que toute interprétation requiert la coopération de spécialistes divers. Surtout, la planétologie comparée devient une réalité. Un

exemple : faire un modèle en climatologie terrestre est particulièrement difficile, les échanges entre atmosphère et océans étant très importants ; de plus on ne dispose que de ce seul exemple ; enfin la Terre tourne très vite sur elle-même. Au contraire, Vénus ne tourne pas vite sur elle-même, la pression y est cent fois plus forte que sur la Terre et il n'y a pas d'océans. On devrait parvenir à faire un modèle valable pour Vénus qui serait une étape vers le modèle pour la Terre.

La volcanologie doit profiter des exemples très différents fournis par les volcans éteints de Mars et les volcans en pleine activité de Io. Les photos prises par Voyager montrent sur Ganymède des failles qui devront être étudiées par les théoriciens de la tectonique. Ces études ont même des applications pratiques : les méthodes d'exploration géologique par photo aérienne ayant abouti, sur Mars, à des résultats contradictoires, on a été amené à corriger les méthodes utilisées pour l'exploration terrestre.

Le lien qui unit les chercheurs de toutes les spécialités, en planétologie, est le problème passionnant de la formation du système solaire et de l'apparition de la vie. Bien sûr, pour certains astronomes, spécialistes de l'observation visuelle, cela pose le problème d'une nouvelle orientation de leurs recherches. Mais aussi bien pour les spécialistes de mécanique céleste que pour les astrophysiciens classiques, la planétologie ne manque pas de problèmes à proposer à leur sagacité.

Rappelons en passant que deux théories sont en compétition pour décrire la formation du système solaire. L'une, dite catastrophique, est due à Buffon : le passage proche d'une étoile (ou, pour Buffon qui ignorait la nature de ces tout petits objets, d'une comète) aurait arraché au Soleil la matière des planètes. L'autre est celle de la nébuleuse de Laplace : la condensation d'un grand disque de matière aurait entraîné la formation simultanée du Soleil et des planètes. Cette dernière théorie a été longtemps rejetée parce qu'elle prévoyait une rotation du Soleil sur lui-même plus rapide que celle qui est observée. Mais ce ralentissement du Soleil

peut être expliqué par la perte de moment angulaire grâce à son champ magnétique. Les âges du Soleil et des planètes déterminés par différentes méthodes de datation semblent bien être les mêmes, ce qui est un très fort argument en faveur de la théorie de Laplace. De plus, on a maintenant démontré qu'un filament de matière arraché au Soleil par l'effet de marée d'une étoile passant au voisinage ne s'étendrait pas au-delà de quelques rayons solaires, ou bien étant très chaud, s'évaporerait du système solaire. Tous arguments qui rendent très peu probable la formation du système solaire par rencontre avec une étoile.

#### D'autres systèmes solaires

Découvrir un autre système planétaire, ce serait la grande découverte du siècle ; elle serait d'un apport extraordinaire pour la planétologie. Se poser le problème de l'existence de tels systèmes n'est pas irréaliste : sur les  $10^{11}$  étoiles de la Galaxie (et il y a des milliards de galaxies), que le système planétaire du Soleil soit un exemplaire unique est hautement improbable. Seulement déceler une planète auprès d'une étoile, c'est vouloir apercevoir une bougie au voisinage d'un phare de marine...

Certains phénomènes font penser que des systèmes planétaires pourraient exister. Le mouvement compliqué de l'étoile de Barnard pourrait être expliqué par la présence d'un corps obscur gravitant autour de l'astre brillant, sans qu'on puisse bien savoir si c'est une étoile faible ou une planète plus grosse que Jupiter. Les déplacements apparents de l'étoile sont si faibles qu'on a peu d'espoir d'améliorer les mesures de manière significative.

On a pensé à un autre caractère susceptible de signaler les étoiles entourées de planètes. Certaines étoiles tournent très vite sur elles-mêmes, d'autres lentement. C'est justement le cas du Soleil (période de 27 jours) si bien que 99% du moment angulaire du système solaire se trouve dans les planètes, comme si le Soleil avait perdu du moment angulaire au profit de celles-ci. Selon cette théorie, on aurait donc plus de chances de trouver des systèmes planétaires autour des étoiles à rotation lente. Ce n'est pas sûr, réplique l'astrophysicien Evry Schatzman, le freinage des étoiles

n'a rien à voir avec les planètes , un fort champ magnétique suffirait à l'expliquer.

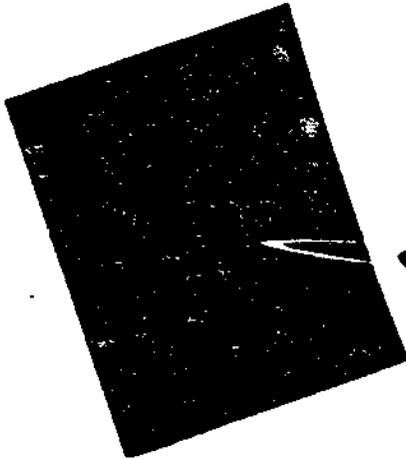
Quelles seraient, en tout cas, les méthodes d'observation susceptibles de donner des résultats ?

Citons-en quatre :

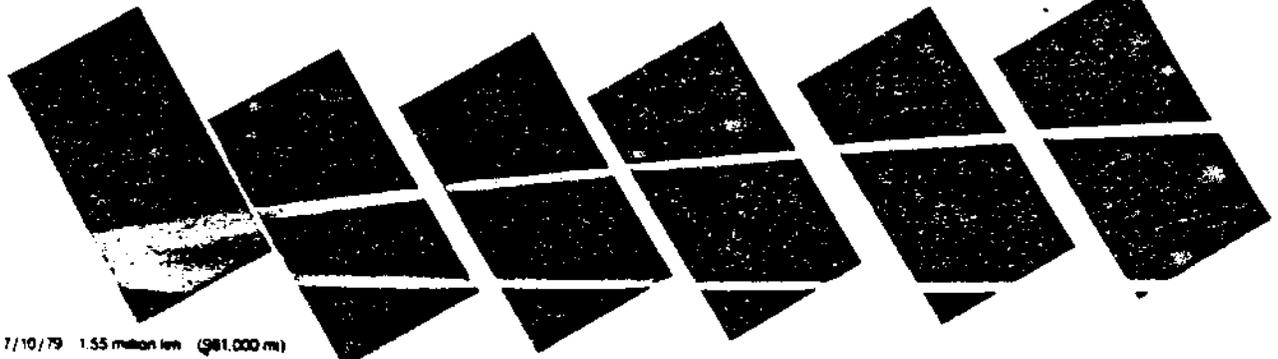
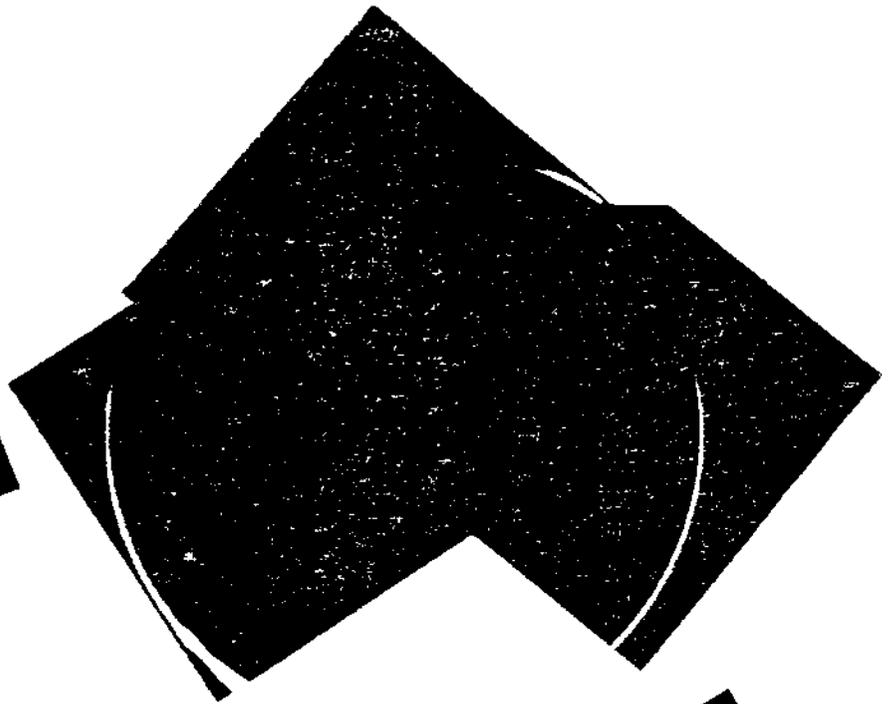
- 1) L'interférométrie optique à partir de la Terre qui consiste à aligner des miroirs et à les diriger dans la même direction au micron près ; la méthode a déjà été expérimentée au CERGA de Grasse par Antoine Labeyrie. Les résultats sont prometteurs : des étoiles doubles qu'on croyait simples ont été ainsi séparées.
- 2) Le télescope spatial de 2,40 m qui doit être mis en orbite quand la navette de la NASA sera au point, permettra un progrès considérable des mesures de position (et par conséquent du mouvement propre des étoiles) : mesures à 0",007 près au lieu de 0",1.
- 3) La spectro-photométrie peut être mise à contribution. L'infra rouge peut révéler la présence d'un compagnon obscur d'une température comparable à celle des planètes.
- 4) Un programme d'observation des occultations d'étoiles par la Lune pourrait être proposé au télescope spatial : par chance, au moment où une étoile est occultée par le bord sombre de la Lune, une planète pourrait être devinée, un très bref instant.

Ce bref aperçu des méthodes envisageables suffit à souligner la difficulté de l'observation. Des astronomes anglais ont conçu un objet plus audacieux (dénommé Dedalus) : une sonde d'abord lancée vers Jupiter s'y ravitaillerait en matériaux nucléaires utiles à sa propagation, elle serait accélérée puissamment pour quitter le système solaire, visiterait une étoile "voisine" bien choisie et communiquerait à la Terre ses observations de quelques heures ... dans une cinquantaine d'années. Projet non irréalisable, certes, mais non résolu technologiquement et qui peut paraître très couteux en période de récession économique ...

Conclusion pour les lecteurs des Cahiers Clairaut :  
merci à André Brahic de nous avoir fait un peu  
participer au travail qu'il mène avec un enthousiasme communicatif. pour la rédaction, G.W.



7/10/79 1.45 million km (900.000 ms)



7/10/79 1.55 million km (981.000 ms)



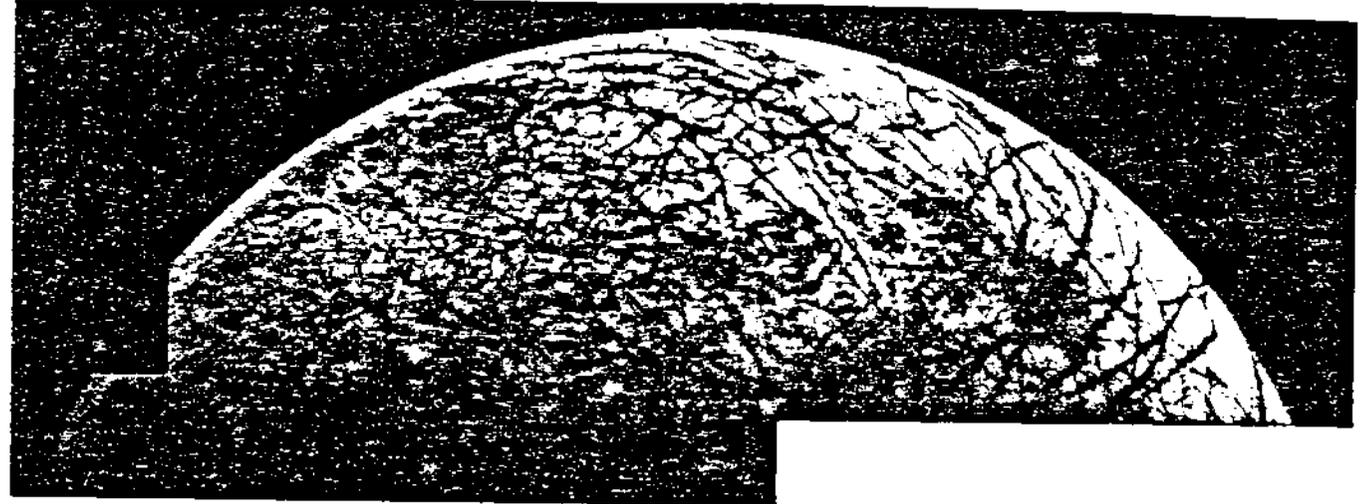
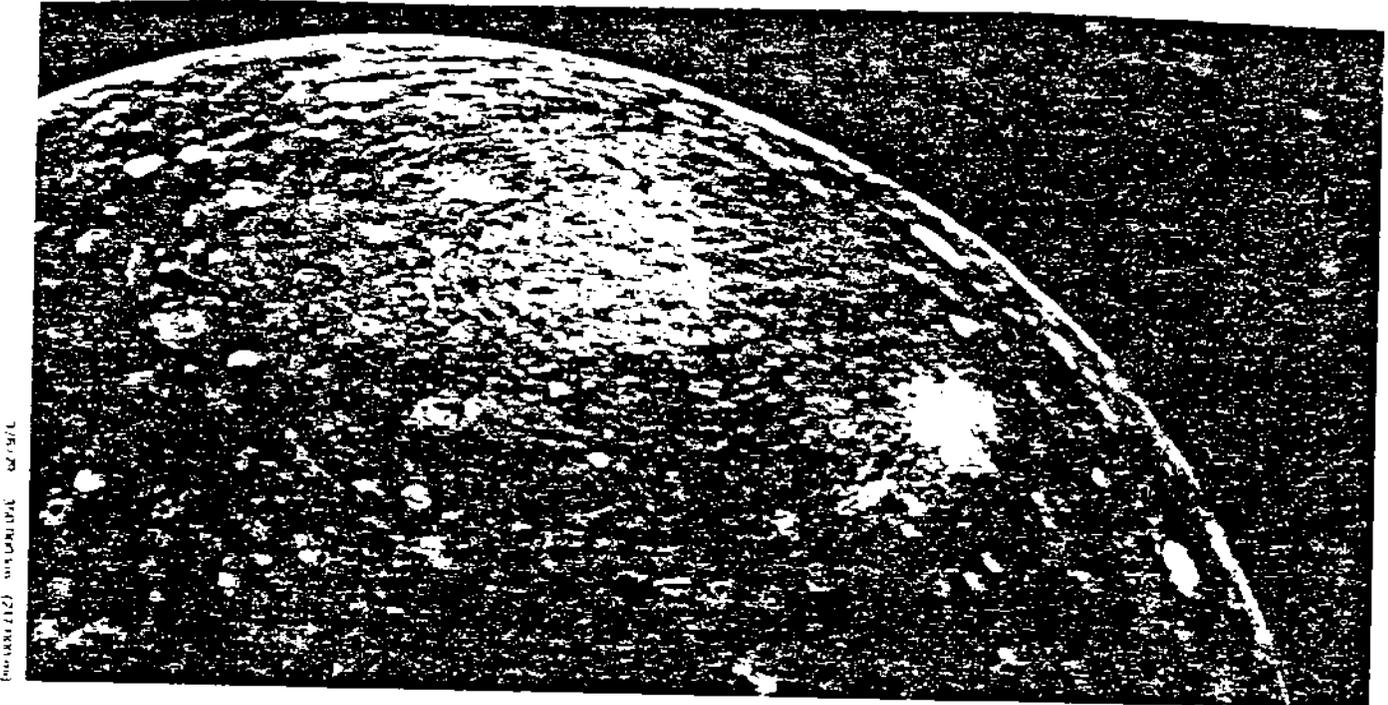
7/10/79 1.45 million km (900.000 ms)

L'anneau de Jupiter photographié par Voyager 2 (en haut à gauche, à contre-jour, l'anneau, lumineux par diffusion, se détache finement sur le fond du ciel).



Photographie de Io prise le 4 mars 1979 par Voyager 1 qui se trouvait alors à 862 000 km du satellite.

N.D.L.R. - Notre entretien avec André Brahic avait eu lieu quand nous avons lu le très bon article de Laurence Soderblom dans le numéro de mars 1980 de Pour la Science. Nous y renvoyons nos lecteurs ; ils y trouveront en particulier la reproduction en couleurs des belles photos de la NASA, ce que les Cahiers Clairaut ne peuvent pas encore se permettre d'offrir à leurs lecteurs.



+ en haut, Callisto avec ses très nombreux cratères (photo Voyager 1)  
+ au milieu, Europe avec les curieuses zébrures de sa surface (photo Voyager 2)  
+ ci-contre, Amalthee vue de 1,25 million de km par Voyager 1



Ganymède photographié  
par Voyager 1 qui s'en  
trouvait, le 4 mars  
1979, à 2,6 million de  
kilomètres.

Ci-contre, l'étrange  
"ratissage" de sa  
surface.



la position du Soleil sur l'écliptique en vient aux problèmes de la mesure du temps et du calendrier. Il se préoccupe de "sauver les phénomènes" comme on disait des mouvements apparents du système solaire, entendant par là qu'on voulait en rendre compte par une combinaison de mouvements circulaires et uniformes (principe encore respecté par Copernic ; il ne fut abandonné que par Kepler en 1609).

Eudoxe avait été l'élève de Platon. Autolykos raisonne en géomètre mais il veut concilier ses déductions avec les observations ; cela donne parfois quelque ambiguïté à l'exposé. On est pourtant séduit par celui-ci.

La traduction a été réalisée par C.Halbert et S. Audina, sous la direction de G.Aujac, à partir des manuscrits connus, en particulier le plus anciens Vaticanus graecus 204. Le livre des Belles Lettres donne le texte grec à droite avec les figures telles qu'elles sont dessinées dans les manuscrits ; à gauche, le texte français est éclairé par les figures correspondantes dessinées en perspective axonométrique plus conforme à nos habitudes.

Je n'aurais pas cru, en ouvrant ce livre, trouver tant de plaisir à m'y plonger. J'y reviendrai souvent.

K.Mizar

#### Pour inventaire

- + Dans La Recherche de février 80, "Les rencontres de galaxies" par Françoise Combes-Bottaro [les déformations de certaines galaxies seraient dues à leurs rencontres ; étude par simulation sur ordinateurs]. Dans le numéro de mars, un article de Daniel Bonneau sur les télescopes à miroirs multiples.
- + Sur Einstein et la Relativité, il faudra que K.Mizar dresse une bibliographie des ouvrages disponibles ; quatre nouveaux parus en un trimestre !
- + Et sur Kepler ! L'éditeur Blanchard réédite "Astronomie nouvelle" et "L'harmonie du monde". Pour la première fois en traduction française. A faire acheter aux bibliothèques.

