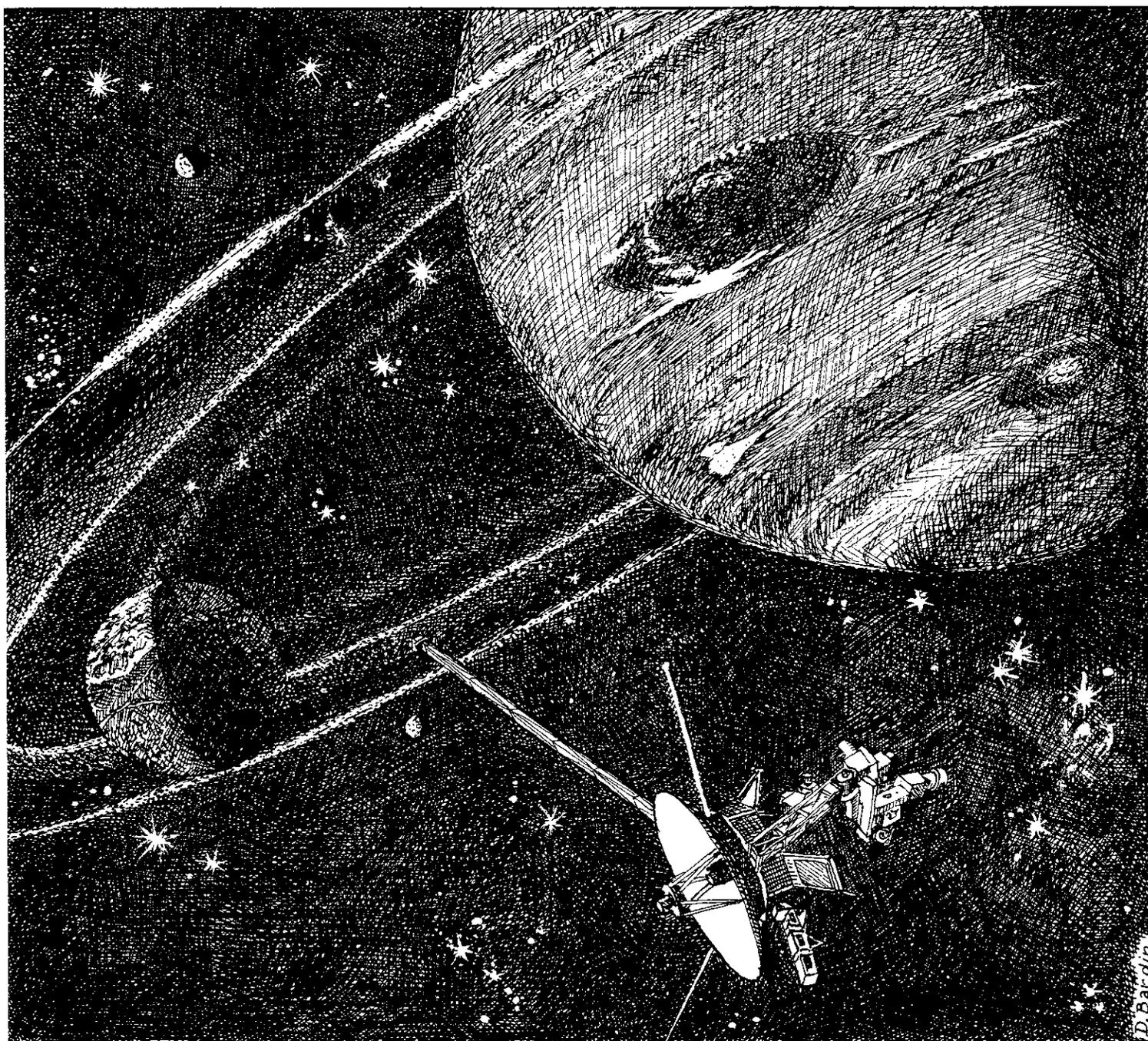


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 50 - E T E 1 9 9 0

ISSN 0758-234 X

LE CLEA - COMITE DE LIAISON ENSEIGNANTS ET ASTRONOMES

Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement public et dans les organismes de culture populaire. En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA intervient par l'organisation de stages et par ses diverses publications.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux, éventuellement en liaison avec les Missions Académiques de Formation ou tous organismes de formation des enseignants. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège, du lycée et de l'école normale. On s'efforce d'y conjuguer information théorique indispensable et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et bon usage de ces matériels).

Aussi bien dans ses stages que dans ses publications, le CLEA favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes hors de toute contrainte hiérarchique.

La liste des publications du CLEA figure en pages 3 et 4 de la couverture.

Bureau du CLEA pour 1990

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker
Evry Schatzman

Présidente : Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents : Agnès Acker
Alain Dargencourt
Marie-France Duval
Hubert Gié
Jean Ripert
Catherine Vignon

Secrétaire trésorier : Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 SAINT CLOUD
tél (1) 47 71 69 09

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut : Daniel Bardin, Lucette Bottinelli, Jacques Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Jean-Paul Parisot, Georges Paturel, Jean Ripert, Daniel Toussaint, Victor Tryoën, Gilbert Walusinski.

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 50 Eté 1990

	page
Les radio-planètes	2
Cercles ou ellipses	14
Nouvelles de l'autre côté de la grande mare	23
Navette spatiale, vol orbital et rendez-vous (suite et fin)	24
Au petit curieux, optique curieuse	29
Les potins de la Voie lactée : du nouveau sur Titan	30
Lectures pour la Marquise	32
Chronique du CLEA	36
L'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999	37
Vient de paraître au CRDP de Paris	40

EDITORIAL

Nous sommes heureux de publier dans ce numéro l'article de Yolande Leblanc sur les radio-planètes. L'auteur nous y fait découvrir l'apport fondamental de la mission Voyager à la connaissance de l'émission radioélectrique des planètes géantes.

Nous remercions aussi Jean-Michel Rolando de nous faire partager ses réflexions sur la façon dont on enseigne la notion de modèle, à propos de l'exemple des trajectoires planétaires et Michel Toulmonde, fort prévoyant, qui nous dit tout ce qu'il faut savoir de l'éclipse totale de Soleil de 1999 ...

Merci encore à Jacques Vialle qui a lu pour nous le compte rendu du colloque de l'Union Astronomique Internationale sur "L'enseignement de l'Astronomie" et nous donne des nouvelles de notre ami Darrel Hoff, de STAR, SPICA et ESTEEM. On y verra qu'aux Etats Unis aussi on rapproche l'enseignement des Sciences de l'Univers de celui des Sciences de la Terre, autour d'un objectif bien précis: privilégier les activités pratiques.

Dans ce domaine, il faut espérer que la Commission Nationale des Programmes que le Ministre vient de nommer fasse à l'enseignement de l'Astronomie la place que nous lui souhaitons. Le CLEA, pour sa part, travaille à l'élaboration de matériel didactique: après les transparents animés pour rétroprojecteur, il a mis en chantier un vaste projet dont nous aurons l'occasion de reparler. Nous pensons que la formation des enseignants et l'existence de matériel didactique approprié seront les pierres angulaires de la réussite de l'enseignement des Sciences de la Terre et de l'Univers. Le CLEA compte bien y investir ses forces.

L'été arrive, avec deux Universités d'été du CLEA en perspective, auxquelles nous souhaitons bonne chance !

La Rédaction

LES RADIO-PLANETES

I.-Quelques dates importantes dans l'histoire de la radioastronomie des planètes magnétisées.

- 1950

Shain observe un rayonnement radio à 18.3 MHz, mais il n'arrive pas à l'identifier.

- 1955

Burke et Franklin découvrent le rayonnement de Jupiter à 22.2 MHz. La température de brillance mesurée est très supérieure à celle d'un rayonnement thermique. On émet alors l'hypothèse d'un rayonnement non-thermique produit par des électrons de haute énergie piégés dans un champ magnétique.

- 1958

Découverte du rayonnement décimétrique de Jupiter.

Découverte des ceintures de Van Allen autour de la terre par les satellites Explorer 1 et 3.

- 1962

Confirmation de l'existence du vent solaire par Neugebauer et Snyder.

Concept de magnétosphère.

- 1964

Contrôle du rayonnement décamétrique par le satellite Io: Bigg montre que le nombre d'émissions de Jupiter dépend de la position du satellite Io sur son orbite.

- 1965

Découverte du rayonnement kilométrique terrestre par le satellite russe Electron-2.

- 1973

Mesure du champ magnétique de Jupiter avec la sonde Pioneer : intensité de 4 à 14 gauss.

Première détection du rayonnement de Jupiter à 1 Mhz par les satellites RAE et IMP-6.

Premières observations détaillées du rayonnement kilométrique terrestre par le satellite IMP-6.

- 1978

Observation du spectre complet de Jupiter avec le récepteur radio à bord des sondes Voyager (PRA-Voyager).

Découverte du tore de plasma le long de la trajectoire du satellite Io.

- 1980

Découverte du rayonnement kilométrique de Saturne (PRA-Voyager)

Observations d'aurores polaires sur Saturne.

- 1986

Découverte du rayonnement kilométrique d'Uranus (PRA-Voyager)

Observation d'aurores à un pôle magnétique d'Uranus.

- 1989

Découverte du rayonnement kilométrique de Neptune.(PRA- Voyager)

Observation d'aurores à un pôle magnétique.

II.-Sources des émissions radioélectriques des planètes.

1. Le vent solaire est un jet continu de particules ionisées qui s'échappent du soleil à une vitesse de 400 à 800 km s⁻¹ et emportent une partie du champ magnétique du soleil. Toutes les planètes baignent dans ce vent solaire. Pour les planètes ne possédant pas de champ magnétique, le vent solaire va simplement contourner ces planètes.(Figure 1)

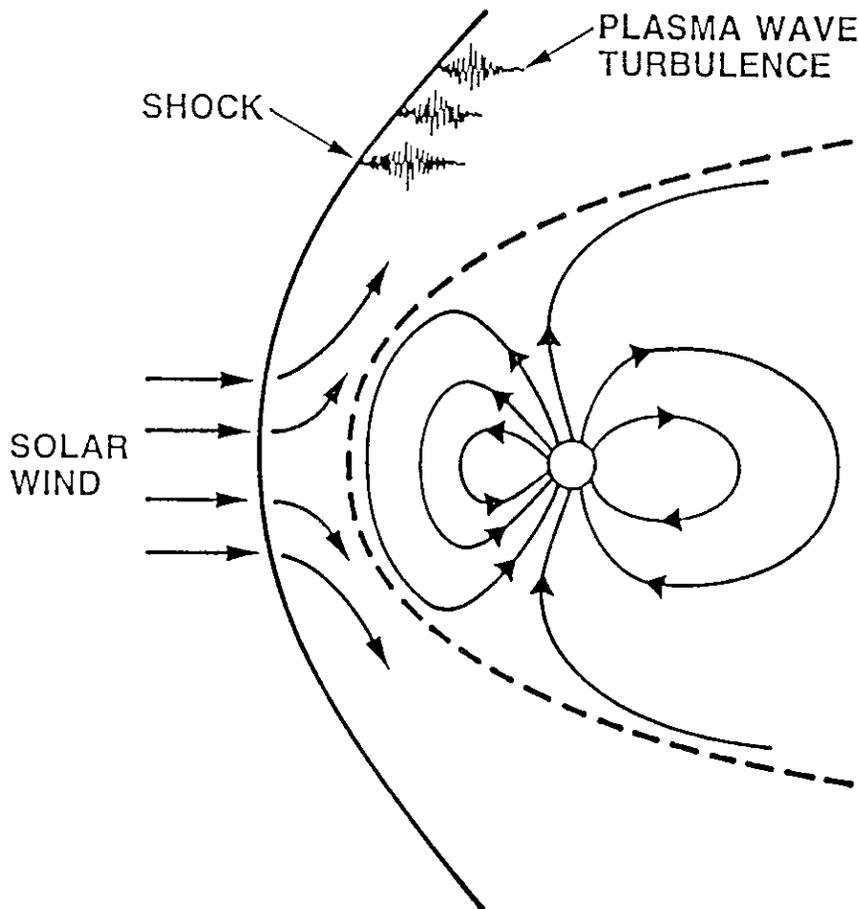


figure 1. - Le Soleil émet un jet continu de particules ionisées qui se déplacent à une vitesse de 400 à 800 kms⁻¹. Toutes les planètes baignent dans ce vent solaire.

2. le champ magnétique planétaire : Pour les planètes avec champ magnétique, les particules chargées qui se trouvent à une altitude supérieure à l'ionosphère (quelques centaines de kilomètres pour la terre) vont subir l'influence du champ : leur mouvement va décrire des spirales autour des lignes de force du champ et elles vont rester piégées dans le champ magnétique de la planète. C'est l'explication de l'origine des ceintures de Van Allen. Le champ magnétique planétaire a la même structure, en première approximation, que celle d'un barreau aimanté: c'est un champ dipolaire. (Figures 2 et 3)

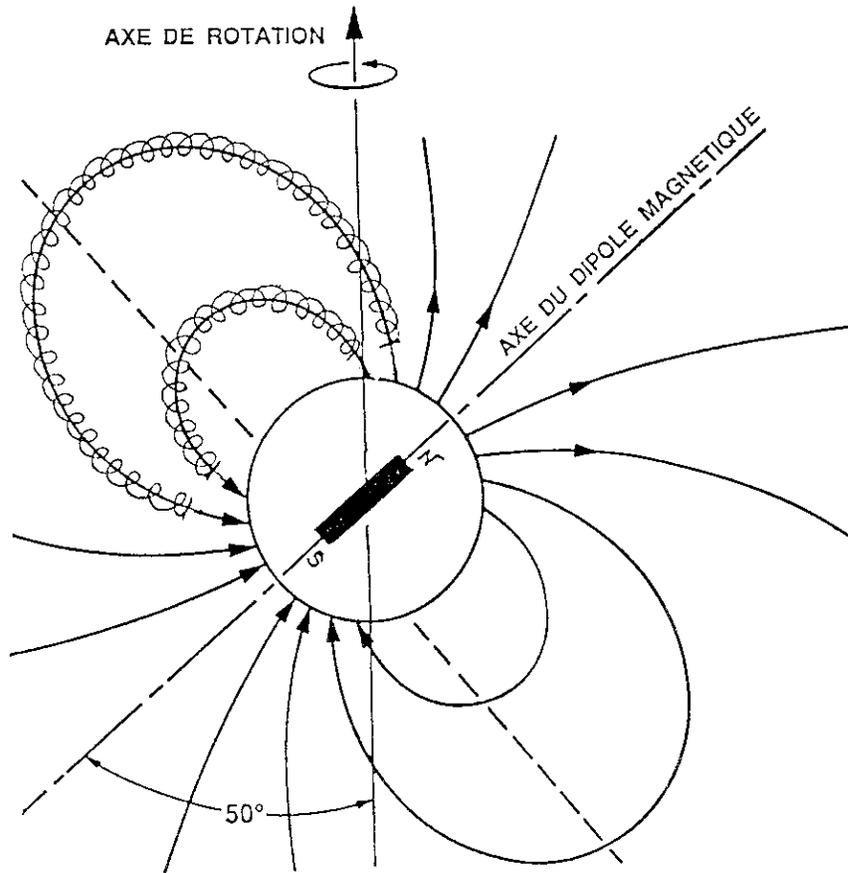


Figure 2. - Champ magnétique planétaire :
il a la même structure, en première approximation, que celle d'un barreau aimanté. Les particules ionisées vont être piégées dans ce champ et former les "Ceintures de VAN ALLEN"

TOTAL SURFACE FIELD INTENSITY OFFSET TILTED DIPOLE MODEL

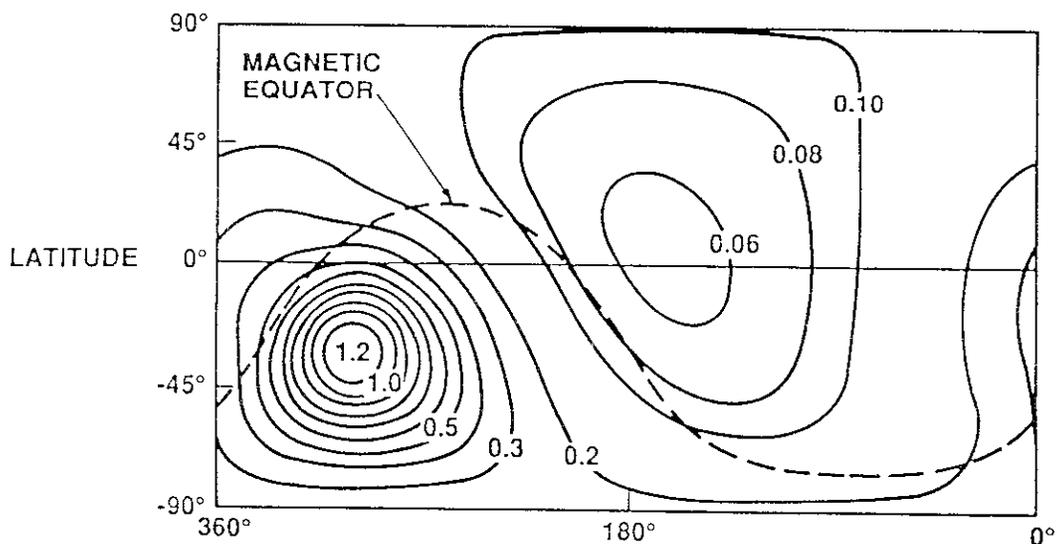


Figure 3. - A l'exception de Saturne, l'axe dipolaire du champ magnétique est incliné par rapport à l'axe de rotation, mais aussi décentré. Il en résulte que l'intensité du champ à la surface de la planète est tout à fait inhomogène, comme le montre cette figure où sont représentées les courbes d'égale intensité du champ magnétique à la surface de Neptune.

3. Interaction du vent solaire avec le champ magnétique planétaire : Le vent solaire et son champ magnétique interagissent avec le champ planétaire. Celui-ci va s'opposer au vent solaire et va l'empêcher de pénétrer jusqu'à la surface de la planète : il se forme ainsi une immense cavité autour de la planète, à l'intérieur de laquelle le champ magnétique de la planète domine. Cette cavité est appelée magnétosphère. (Figure 4)

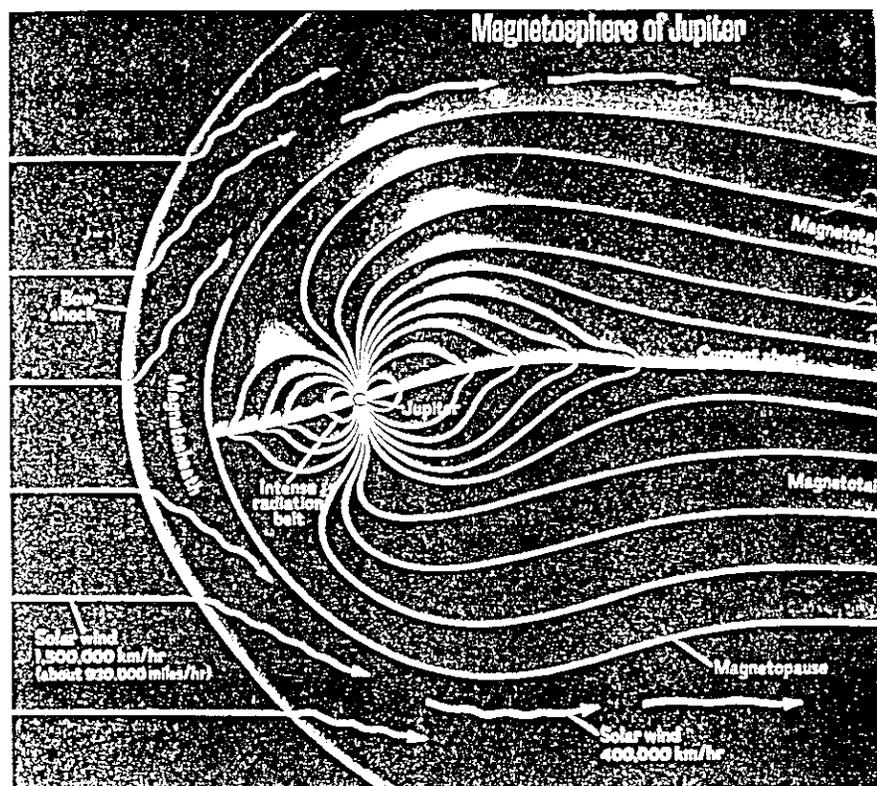


Figure 4. - Interaction du vent solaire avec le champ magnétique d'une planète : formation d'une magnétosphère.

4. Magnétosphère : la forme et les dimensions dépendent de l'intensité du champ magnétique, de la pression du vent solaire (donc de la distance du soleil à la planète) et de ses fluctuations, de l'orientation du dipole magnétique de la planète par rapport à l'axe de rotation et au plan de l'écliptique, des satellites à l'intérieur de la magnétosphère et enfin de la période de rotation de la planète. (Tableau 1)

PLANETES MAGNETISEES

	TERRE	JUPITER	SATURNE	URANUS	NEPTUNE
Rayon (Km)	6500	71000	60000	24000	24781
Distance au Soleil (UA)	1	5.2	9.5	19.2	30
Moment magnétique (Gauss)	0.3	4	0.2	0.2	0.2
Angle entre axe magnétique et axe rotation	11.5°	9.8°	0°	60°	50°
Période de rotation	23:56	9:55	10:39	17:24	16:05
Distance magnétopause	10 R_T	50-100 R_J	20-50 R_S	18 R_U	22-29 R_N

Tableau 1

Comparaison des champs magnétiques des planètes, de leur période de rotation (en heures) et de la distance de la magnétopause au centre de la planète ($R_T = 1$ rayon terrestre, $R_J = 1$ rayon Jupiter, $R_S = 1$ rayon Saturne, $R_U = 1$ rayon Uranus, $R_N = 1$ rayon Neptune).

Une magnétosphère comprend plusieurs régions distinctes :

- l'onde choc, c'est la région où s'opposent et s'équilibrent l'énergie cinétique du vent solaire et l'énergie magnétique de la planète.
- La magnétogaine dans laquelle se trouve un gaz de particules ionisées très turbulent.
- La magnétopause est la limite du champ planétaire. La zone est comprimée du côté soleil, et très étirée du côté opposé au soleil (queue magnétosphérique). Dans la queue magnétosphérique et loin de l'équateur magnétique de la planète, les lignes de force du champ magnétique sont "ouvertes". Au voisinage de l'équateur magnétique, les lignes de force sont "fermées". Les deux zones comprises entre ces deux régions s'appellent "carnets" polaires. C'est dans ces régions que pénètrent les particules du vent solaire. Dans le plan de l'équateur

magnétique, un feuillet de plasma neutre qui à grande distance s'infléchit pour devenir parallèle au plan équatorial de la planète.

A la surface de la planète on peut distinguer les régions correspondant aux pieds des lignes de champ fermées, et celles correspondant aux pieds des lignes de force ouvertes. La limite entre lignes fermées et ouvertes constitue les zones aurorales qui se trouvent le long d'un cercle ou d'un ovale autour des pôles magnétiques de la planète.(Figure 5)

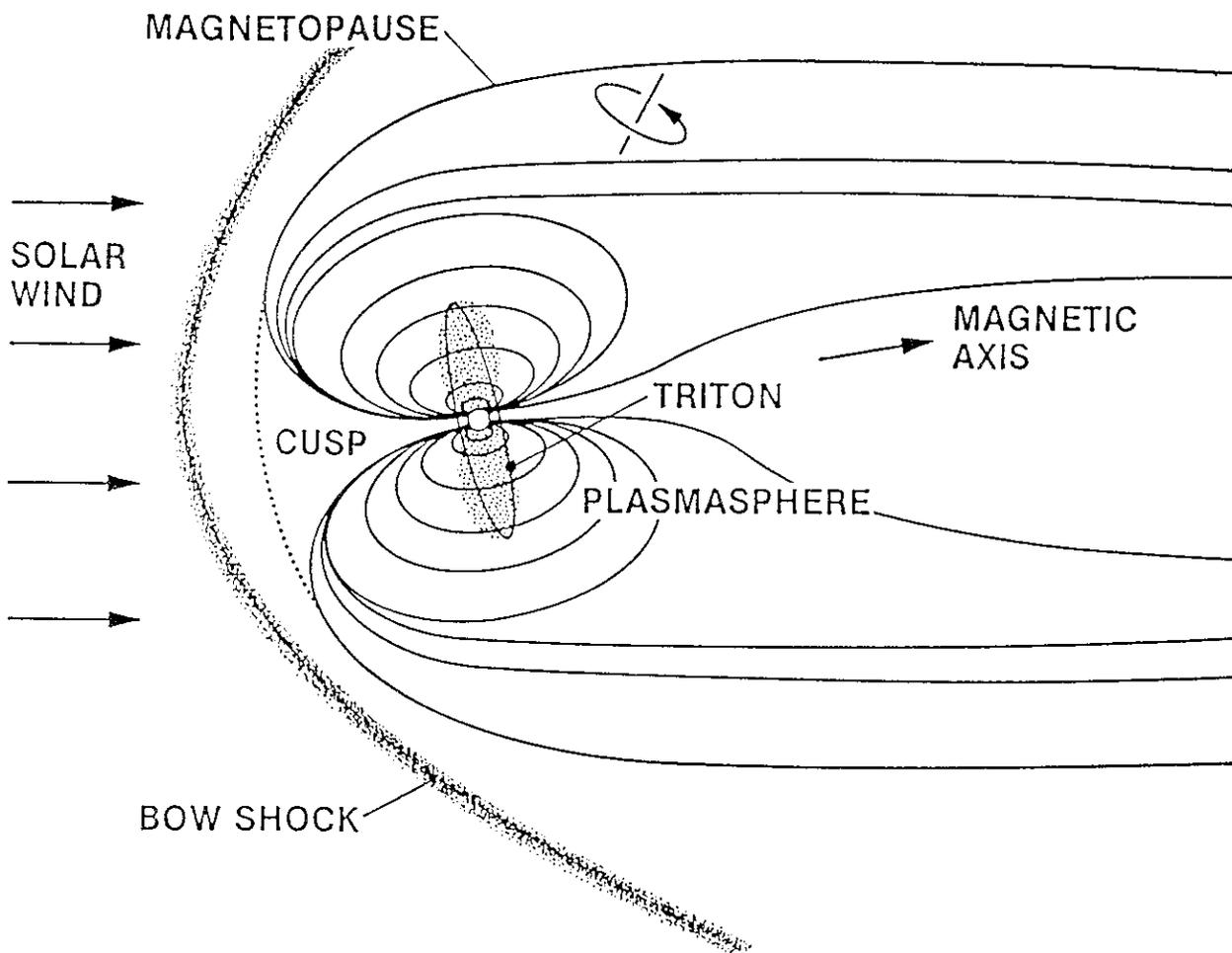


Figure 5. -

Magnétosphère de Neptune. Le champ magnétique de Neptune est incliné de 50° par rapport à l'axe de rotation de la planète.

A l'intérieur de la magnétosphère, on distingue des ceintures de particules piégées ; le nombre et l'énergie de ces particules varient selon les planètes. Dans la magnétosphère de Jupiter on compte un flux de 10000 électrons ayant une énergie de 50 keV. Ce sont ces électrons qui sont à l'origine du rayonnement décimétrique découvert en 1958. Dans les autres magnétosphères ce flux d'électrons est trop faible (< 100) pour produire une émission décimétrique (rayonnement synchrotron).

5. Emission radioélectrique des planètes.

Les sources des émissions radioélectriques se trouvent dans les zones aurorales. Ce sont des régions où les particules vont se précipiter le long des lignes de force vers les hautes latitudes magnétiques et provoquer des émissions radioélectriques et des aurores polaires.(Figure 6)

AURORAL ZONE PROCESSES AT NEPTUNE

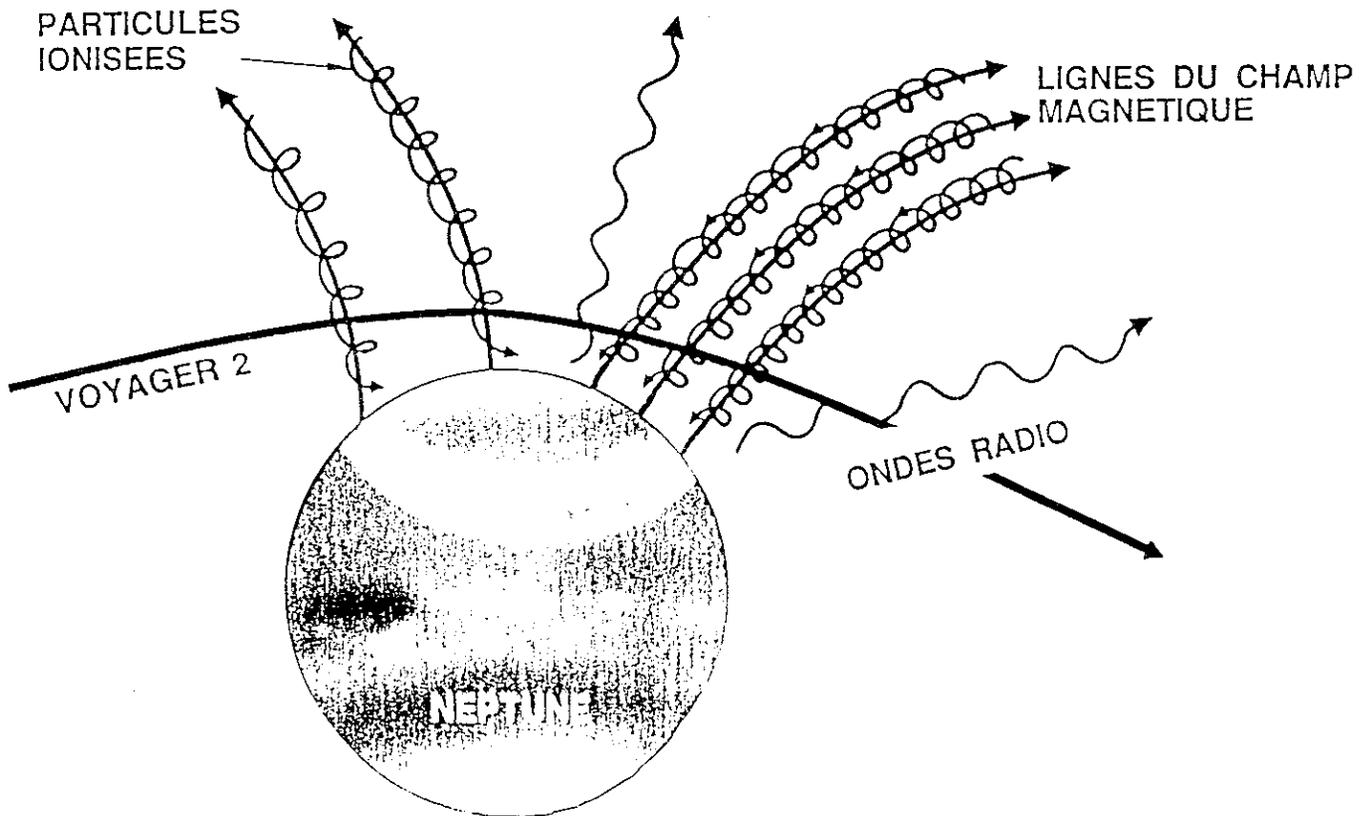


Figure 6. - Emissions radioélectriques des planètes : des particules sont précipitées le long des lignes de champ de la planète dans les zones aurorales. L'interaction avec l'ionosphère de la planète produit des aurores et des émissions radioélectriques.

- Fréquences d'émission:

On a établi que le rayonnement est émis à une fréquence directement proportionnelle au champ magnétique de la planète

$$F(\text{MHz}) = 2.8 B(\text{gauss})$$

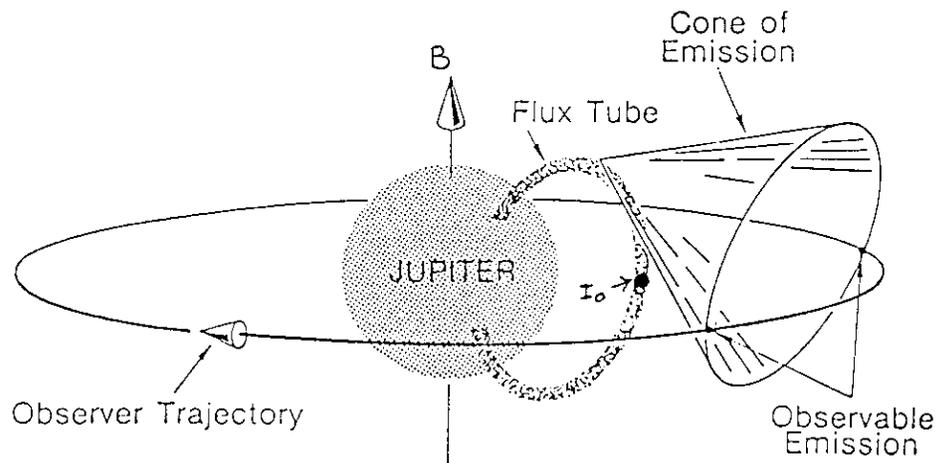
Pour Jupiter dont le champ magnétique maximum est de 14 gauss, la limite haute fréquence observée est de 39.5 MHz. Pour les autres planètes, dont le champ est de l'ordre de 0.2 gauss, la limite haute fréquence observée est de l'ordre de 1.4 MHz.

- Modulation du rayonnement:

Les émissions reçues sont modulées par la rotation de la planète, car l'axe dipolaire est incliné par rapport à l'axe de rotation de la planète, à l'exception de Saturne. Pour Saturne les 2 axes sont confondus, cependant l'émission radio a été trouvée modulée par la rotation de la planète, ce qui suppose une anomalie magnétique qui n'a pu être mesurée avec le magnétomètre à bord de la sonde Voyager. Cette modulation du rayonnement nous a permis de mesurer les périodes de rotation des planètes magnétiques avec précision .

- Directivité du rayonnement:

Généralement le rayonnement est émis le long des parois d'un cône très ouvert par rapport à la ligne de champ magnétique passant par son axe. Quand l'observateur rencontre l'une des parois du cône, il reçoit l'émission.(Figure 7)



A schematic, not to scale, showing emission from a point on an Io flux tube into a conical surface.

Figure 7. - Le rayonnement est émis le long des parois d'un cône dont l'axe passe par une ligne de champ magnétique.

- Position des sources:

Les sources sont localisées dans les régions aurorales mais généralement pas à toutes les longitudes. Elles sont souvent fixes par rapport au soleil. Pour la terre la source est située principalement côté nuit. pour Saturne, la source est du côté jour. Pour Uranus on a localisé des sources côté nuit mais aussi côté jour. Pour Jupiter l'émission est beaucoup plus complexe. Cela est dû à la présence du tore de Io où les particules sont accélérées et précipitées dans les zones aurorales le long des tubes de flux passant par Io. On distingue les sources de rayonnement décamétriques près de la planète dans les zones aurorales, au pied des lignes de force du champ magnétique passant par Io ; les sources de rayonnement hectométriques situées à plus haute altitude, le long des lignes de force ouvertes; le rayonnement kilométrique de Jupiter est produit par des sources localisées dans le tore de Io. Pour Neptune des sources côté jour et côté nuit ont été mis en évidence.

- Influence du vent solaire et activité aurorale:

Les particules qui sont précipitées dans les zones aurorales sont directement associées aux fluctuations du vent solaire : variation de la pression et de la vitesse du vent solaire, variation de l'intensité du champ magnétique solaire. On doit donc s'attendre à ce que les émissions radioélectriques soient accompagnées d'auroras, et que ces émissions soient modulées par les fluctuations du vent solaire.(Tableau 2)

<u>PLANET</u>	<u>AURORAL POWER (WATTS)</u>
EARTH	10^{11}
JUPITER	10^{14}
SATURN	10^{11}
URANUS	4×10^{10}
NEPTUNE	$> 10^6$

Tableau 2

Comparaison de la puissance des émissions aurorales pour les 5 planètes magnétisées.

Pour toutes les planètes magnétiques on a en effet observé des aurores polaires dont la position recouvre assez bien la position des sources radioélectriques.

De plus la corrélation des émissions radioélectriques avec le vent solaire a été mise en évidence pour toutes les planètes magnétiques ; cependant l'influence de vent solaire varie selon les planètes : elle est très forte pour l'émission radioélectrique de la Terre et de Saturne, modérée pour Jupiter et Uranus.

III. Conclusion

La mission voyager a été l'une des missions les plus fructueuses pour la connaissance des planètes géantes en général, et pour la découverte de leur émission radioélectrique. C'est la première fois qu'un récepteur radio très sophistiqué et couvrant une très large bande de fréquences soit mis à bord d'une sonde. Il a permis de découvrir les émissions basse fréquence de Jupiter, les émissions radioélectriques de Saturne, d'Uranus et de Neptune, (Figure 8) et de déterminer les périodes de rotation de ces planètes. Les sondes Voyager avaient aussi à bord des expériences pour la mesure du champ magnétique et l'observation des particules de haute énergie, ce qui a fourni des éléments tout à fait nouveaux pour la connaissance des magnetosphères de ces planètes.

Les émissions radioélectriques des planètes magnétiques ont plusieurs caractères communs. De plus, de telles émissions ont été observées en provenance du soleil et de certaines étoiles. Il apparaît maintenant que tous les corps célestes possédant un champ magnétique intrinsèque et une source d'électrons de haute énergie, sont de puissants émetteurs radioélectriques.

Yolande LEBLANC

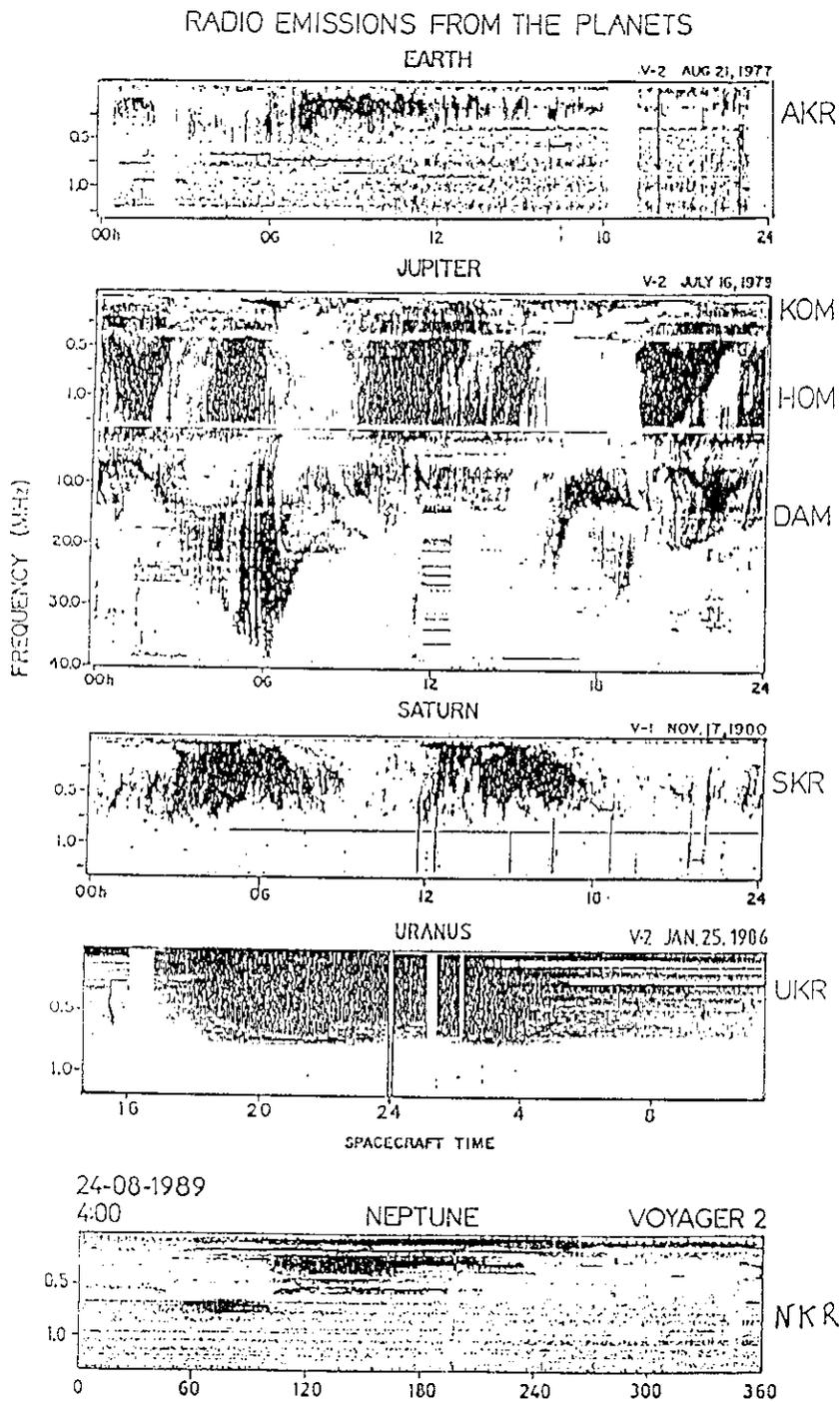
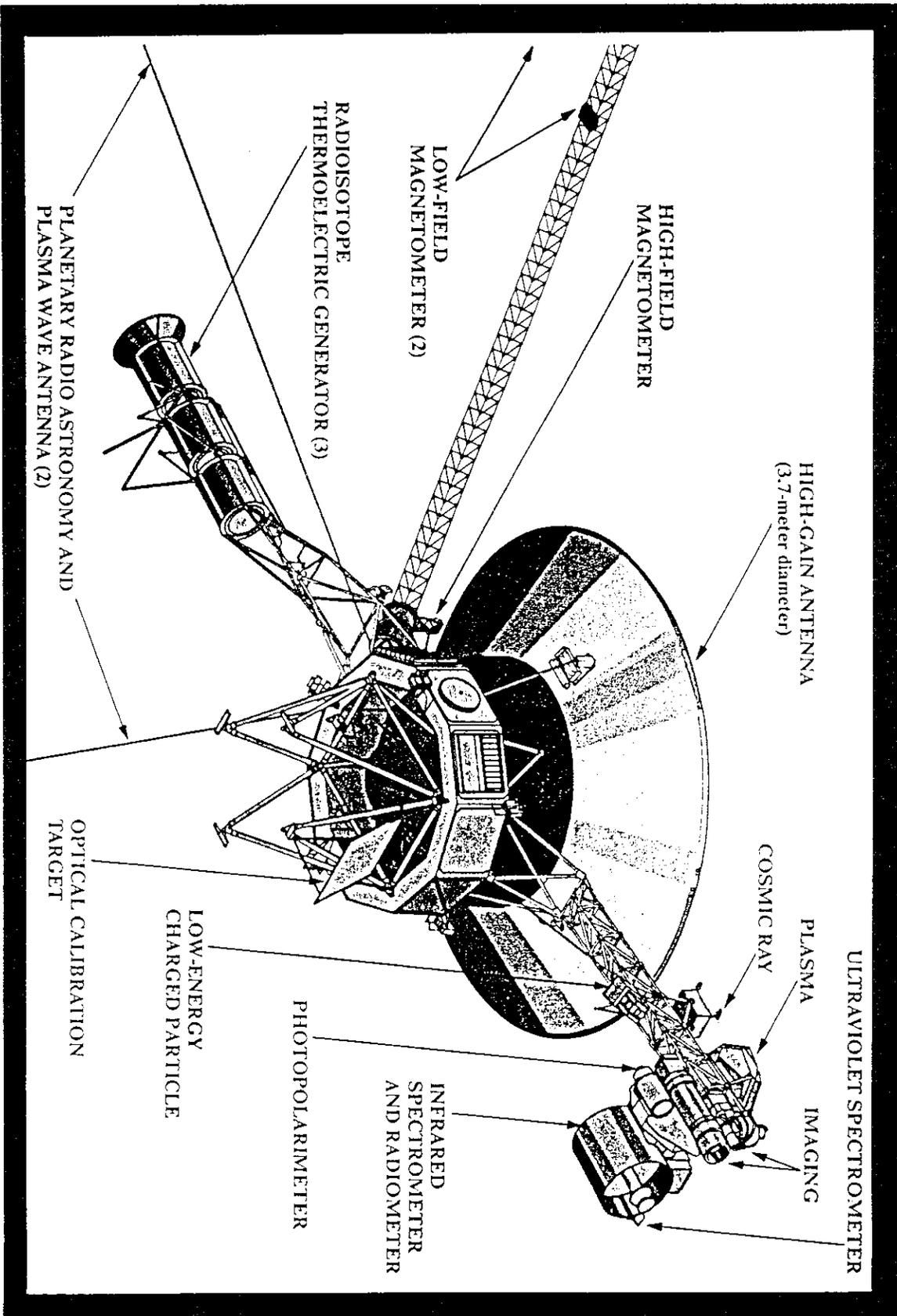
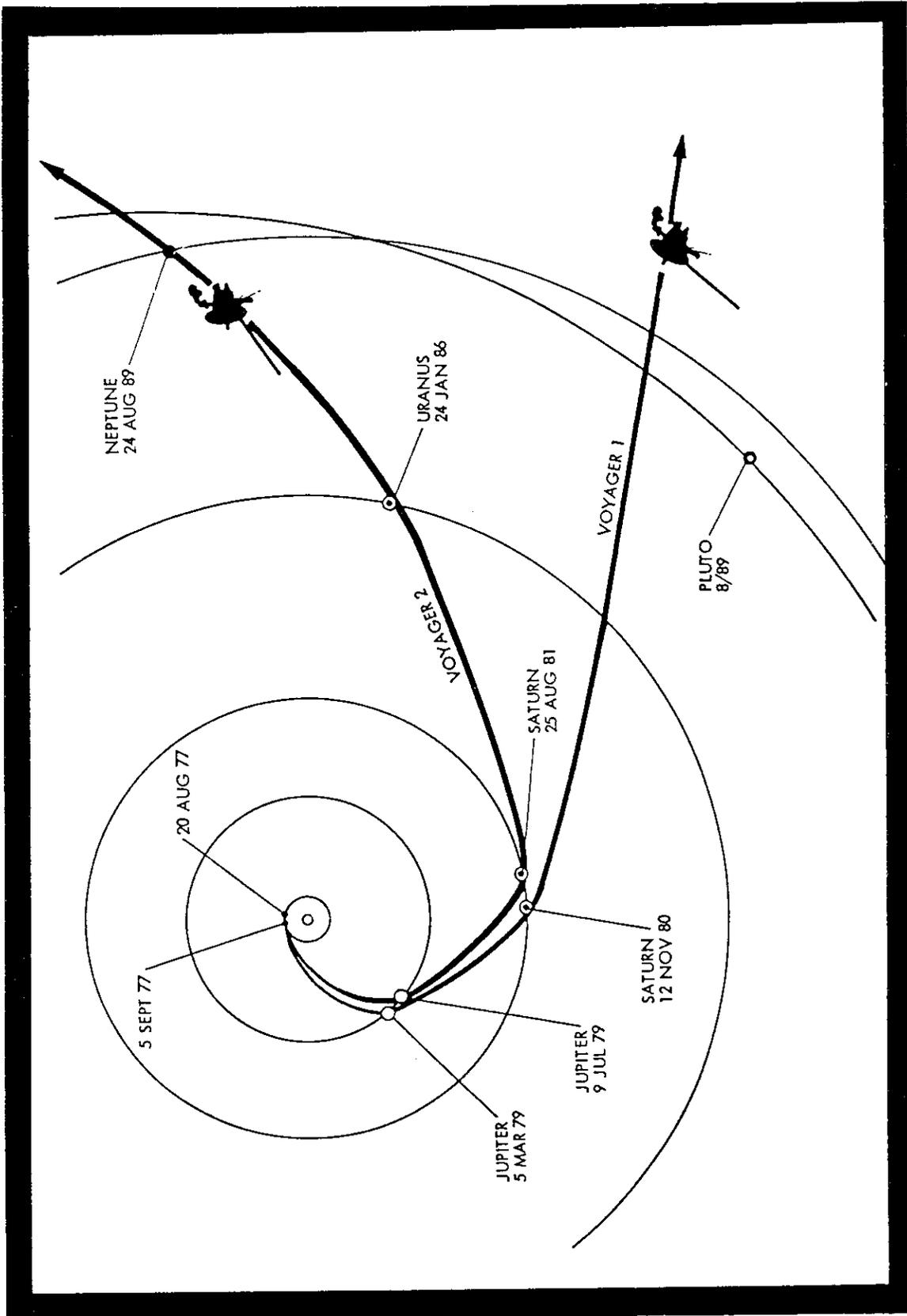


Figure 8. - Les émissions radioélectriques des planètes magnétisées. La limite haute fréquence des émissions est directement proportionnelle à l'intensité du champ magnétique à la surface de la planète. Pour Jupiter, la limite haute fréquence est de 39.5 MHz (le champ magnétique atteint 14 gauss à la surface d'une région limitée de la planète).





CERCLES OU ELLIPSES ?

Réflexions sur la trajectoire des planètes

Avertissement

Ce texte a été rédigé en vue d'une diffusion auprès d'instituteurs dont la plupart ne sont pas familiarisés ni avec l'astronomie ni avec la géométrie des ellipses. Les lecteurs spécialistes voudront bien, de ce fait, excuser certaines précisions qu'ils pourraient juger inutiles, mais qui ne leur sont nullement destinées.

INTRODUCTION

Parmi les phénomènes astronomiques les mieux connus du public fréquentant les Ecoles Normales, tant en formation initiale qu'en formation continue, figure en bonne position le fait que les planètes se déplacent autour du Soleil sur des trajectoires elliptiques. Je me propose pourtant de montrer qu'il s'agit là d'une connaissance livresque susceptible de conduire à d'énormes confusions si, comme c'est souvent le cas, elle est mal assimilée. Je pense nettement préférable de considérer ces trajectoires comme circulaires, tant à l'école élémentaire qu'au collège. Les raisons de ce parti pris seront développées en envisageant tout d'abord l'aspect historique qui nous montrera comment on est passé du modèle de Copernic (trajectoires circulaires) au modèle de Kepler (trajectoires elliptiques). Nous verrons dans un second paragraphe que les ellipses en question sont très proches de cercles. Nous discuterons ensuite (troisième paragraphe) du point de vue pédagogique et nous montrerons que la pratique d'une démarche scientifique ne permet pas d'accéder au modèle de Kepler avec de jeunes enfants. Nous terminerons en analysant rapidement deux confusions inquiétantes et malheureusement fréquentes.

1. DU MODELE DE COPERNIC A CELUI DE KEPLER

On connaît depuis l'antiquité les mouvements apparents de Mars, Jupiter et Saturne. Ces planètes se déplacent sur le ciel étoilé en décrivant une boucle (fig 1). Cette particularité vaut d'ailleurs leur nom aux planètes (étymologiquement : astres promeneurs). L'explication de cette boucle constitue le point faible de tous les modèles antérieurs à celui de Copernic, y compris celui de Ptolémée qui fit pourtant autorité pendant quinze siècles. En 1543 paraît l'ouvrage de Nicolas Copernic (1473-1543) intitulé "De Revolutionibus Orbium Coelestium" qui propose une vision héliocentrique de l'Univers :

- Le Soleil en occupe le centre, les étoiles la périphérie ;
- les planètes effectuent une révolution autour du Soleil en parcourant des orbites circulaires.

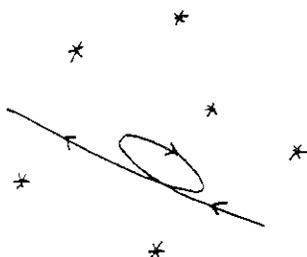


fig. 1

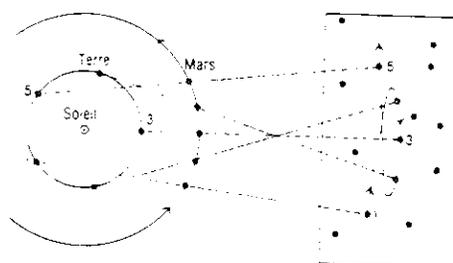


fig. 2

Le système de Copernic connaît un accueil peu chaleureux dans les milieux ecclésiastiques bien qu'il donne une interprétation simple et élégante à la boucle des planètes (fig 2). Mais simplicité et élégance ne sont pas des valeurs de l'époque. La longévité d'une théorie telle que celle de Ptolémée est au contraire considérée comme la meilleure référence qui soit.

Condamnées par l'église catholique jusqu'en 1835, les oeuvres de Copernic retiennent toutefois l'attention de Johannes Kepler (1571-1630) et de Galileo Galilée (1564-1642) qui correspondent fréquemment pour échanger leurs idées sur celles-ci. Alors que Galilée enseigne le modèle de Copernic à l'Université de Padoue, Kepler entreprend de le confronter aux très précises observations de Tycho Brahé (1546-1601). Il peut alors constater des divergences d'environ 8 minutes d'angle. Il convient de noter ici qu'avec les moyens de l'époque (lunettes et télescopes n'existent pas), obtenir une précision de cet ordre est une véritable prouesse. Mais Kepler a une telle confiance dans les qualités de Tycho Brahé qu'il refuse de croire en des erreurs de mesure et cherche comment modifier le modèle de Copernic pour le rendre conforme aux observations. Après de nombreux mois de tentatives infructueuses, il a finalement l'idée d'affecter aux planètes des trajectoires elliptiques dont le Soleil occupe l'un des foyers (voir le paragraphe suivant pour la définition d'une ellipse et celle de ses foyers).

Plusieurs enseignements essentiels doivent être tirés de ce rapide tour d'horizon historique:

- 1. Le remplacement d'un modèle par un autre n'est jamais un acte gratuit mais répond à une nécessité. Le système de Copernic a été remplacé par celui de Kepler parce qu'il ne donnait pas entière satisfaction face aux données de l'observation.

- 2. Le passage du modèle de Ptolémée à celui de Copernic marque une rupture caractérisée par un changement radical de l'hypothèse de base : le géocentrisme cède la place à l'héliocentrisme. Au contraire, le passage au modèle de Kepler ne constitue en fin de compte qu'une amélioration se situant dans la continuité de l'hypothèse de base : on reste dans une description héliocentrique.

- 3. Le modèle de Kepler est-il la "Vérité" ? On l'a cru un temps, d'autant que Newton en a donné quelques années plus tard, une remarquable justification théorique. On sait maintenant qu'il n'en est rien. On a pu en effet observer que la trajectoire de Mercure présente une particularité inexplicable par la théorie de Newton. (Pour plus de détails, on peut se reporter à l'appendice I bien que cela ne soit pas indispensable pour la compréhension de la suite).

- 4. Cela nous amène à poser le problème de l'existence d'une vérité dans le domaine des sciences. L'Histoire ne cesse de nous montrer que ce qui est considéré comme "vrai" à une époque, ne l'est souvent plus à une autre. La science actuelle procède différemment. Elle ne se préoccupe plus de chercher une hypothétique vérité, mais élabore des modèles dont elle sait qu'ils ne sont que des approximations d'une réalité inaccessible. Ces modèles sont satisfaisants à l'intérieur d'un champ expérimental parfaitement connu, et ne le sont plus dès qu'on en sort. Ainsi il n'est pas pertinent de se demander si une théorie est "vraie" ou "fausse". Il convient plutôt de savoir si elle constitue une "bonne" ou une "mauvaise" approximation. Cela dépend bien sûr du domaine expérimental à l'intérieur duquel on se situe. Le modèle de Copernic est satisfaisant pour expliquer l'alternance des jours et des nuits, pour rendre compte des saisons et pour interpréter qualitativement la "boucle" des planètes. Il est insuffisant pour en rendre

compte quantitativement. Le modèle de Kepler est satisfaisant pour cette description quantitative, mais insuffisant pour expliquer la particularité du mouvement de Mercure.

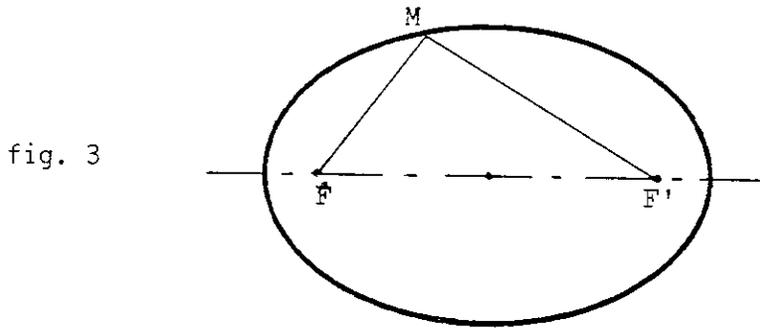
Pour résumer :

1. La science élabore des modèles dont elle ne se préoccupe pas de savoir s'ils sont "vrais" mais s'ils sont satisfaisants à l'intérieur d'un champ expérimental donné.

2. Les modèles n'ont pas une durée de vie infinie. Ils se complètent et s'enrichissent progressivement (phase de continuité) ou se détruisent pour être remplacés par d'autres édifiés sur des fondements différents (phase de rupture).

2. DES ELLIPSES ... QUI SONT PRESQUE DES CERCLES

La figure 3 représente une ellipse. Les points F et F' sont appelés les foyers. Prenons un point M n'importe où sur l'ellipse, mesurons les distances FM et MF' puis calculons la somme FM + MF'. Le résultat sera identique quelle que soit la position du point M sur l'ellipse.



Les ellipses sont, en quelque sorte, des "cercles aplatis". Pour avoir une idée de cet "aplatissement", nous pouvons évaluer le rapport du petit axe de l'ellipse sur son grand axe (fig. 4).

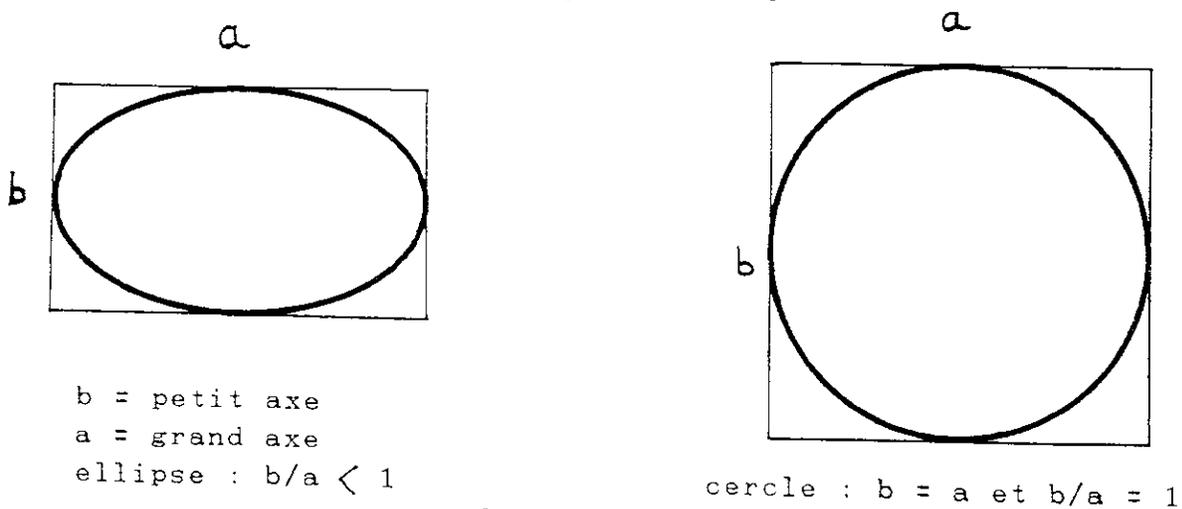


fig. 4

Plus l'ellipse est "aplatie", plus ce rapport est petit. Pour un cercle, il est égal à 1.

Les trajectoires des planètes sont maintenant fort bien connues des astronomes. Le tableau présenté ci-après indique, pour les neuf planètes du système solaire ainsi que pour la Lune, la valeur au 1/10000 près du rapport b/a défini précédemment.

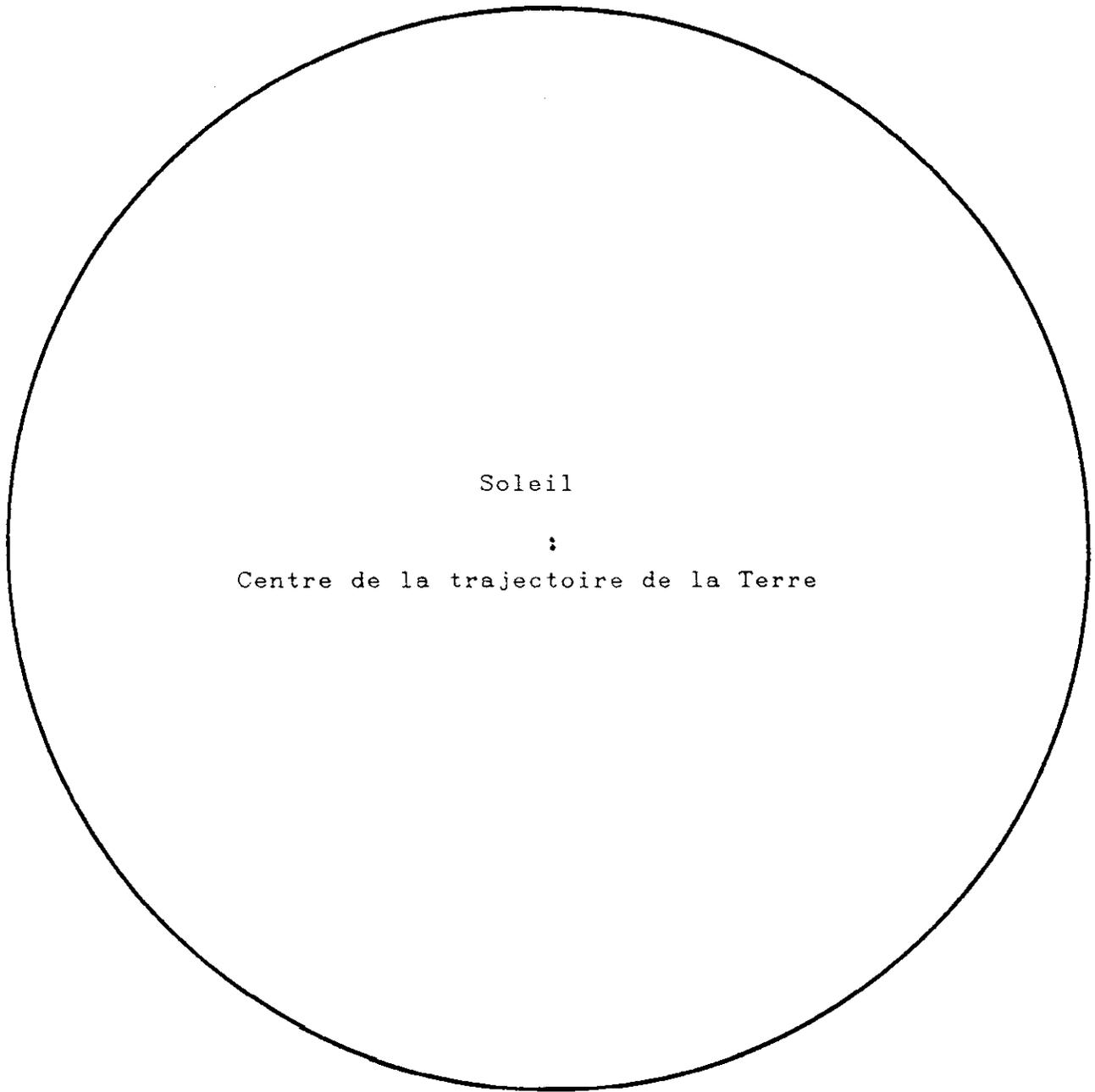


Fig. 6 Trajectoire de la planète Terre

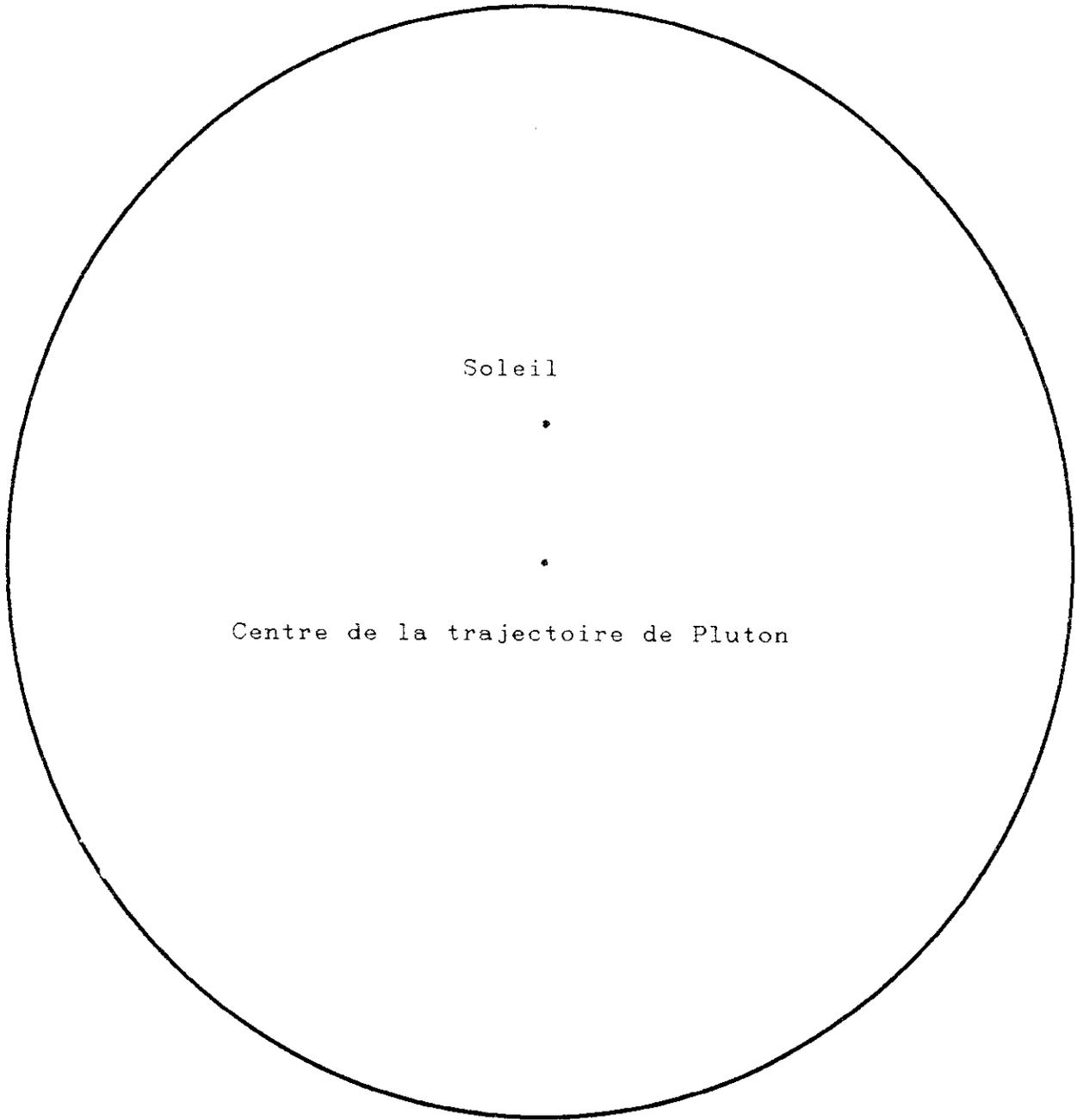


Fig. 5 Trajectoire de la planète Pluton

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter
b/a	0,9785	1,0000	0,9998	0,9957	0,9988

Planète	Saturne	Uranus	Neptune	Pluton	Lune
b/a	0,9984	0,9989	1,0000	0,9682	0,9985

Il apparaît immédiatement que toutes ces trajectoires sont presque circulaires. L'orbite de Pluton, la plus "aplatie", est représentée à l'échelle sur la figure 5. On peut effectivement constater que ce n'est pas un cercle, mais reconnaissons que la différence est tout juste perceptible sans mesure. Par contre, on voit parfaitement que le Soleil ne se trouve pas au centre de symétrie de l'ellipse, mais à l'un de ses foyers, ainsi que l'a établi Kepler.

La figure 6 représente, toujours à l'échelle, l'orbite de la Terre et la position du Soleil. Un examen attentif, double décimètre à la main, nous montre qu'il n'est pas possible de différencier cette orbite d'un cercle. A cette échelle, l'épaisseur du trait rend imperceptible cet écart. On peut, par contre, constater que le Soleil n'occupe pas rigoureusement le centre du cercle.

Pour résumer :

1. Les orbites planétaires sont certes des ellipses, mais leur "aplatissement" est tellement faible qu'il n'est perceptible, lors d'une reproduction à l'échelle, que pour quelques unes d'entre elles (Mercure et Pluton).
- 2. "L'aplatissement" de l'orbite terrestre n'est donc pas perceptible, mais la position très légèrement excentrée du Soleil est accessible à un examen attentif.

3. QUELS MODELES ?... POUR QUELS ELEVES ?

Faire accéder les élèves de tous âges à une meilleure compréhension du monde en leur faisant pratiquer une DEMARCHE SCIENTIFIQUE, est une idée fort généreuse, largement affirmée par les Instructions Officielles successives, tant dans le Primaire que dans le Secondaire, mais dont la mise en oeuvre s'avère parfois délicate. Dans le domaine de l'astronomie, il semble que toute démarche scientifique procède :

- d'une étude précise de quelques phénomènes visant à en avoir une vision objective (observation, description, schémas, ...)
- de la recherche, dans un second temps seulement, de l'explication la plus satisfaisante.

Il faut entendre que l'explication retenue doit être conforme aux phénomènes observés et, de plus, la plus simple possible. Il convient toutefois de rester dans un modèle héliocentrique, pour rester en cohérence avec la rupture épistémologique historique marquant l'abandon du géocentrisme.

Ainsi l'alternance des jours et des nuits s'explique par la rotation de la Terre sur elle-même autour d'un axe qui, à ce stade, n'a nullement besoin d'être incliné (fig.7).

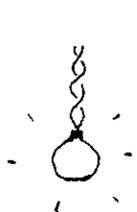


fig. 7

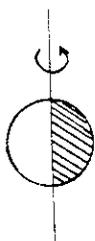
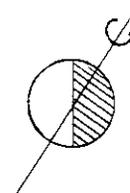


fig. 8



L'inégalité entre la durée des jours et celle des nuits nécessite d'incliner l'axe de rotation, mais nullement d'envisager la révolution de la Terre autour du Soleil (fig.8). Ouvrons une petite parenthèse pour signaler que l'usage prématuré du globe terrestre risque de présenter cette inclinaison comme un a priori, un dogme, alors qu'elle n'est qu'une nécessité visant à donner l'explication la plus simple à un phénomène donné.

La variation de la durée des jours au fil des saisons s'explique par la révolution de la Terre autour du Soleil sur une trajectoire qu'il suffit de considérer comme circulaire. Cela nécessite en outre de maintenir constante la direction de l'axe de rotation (fig.9).

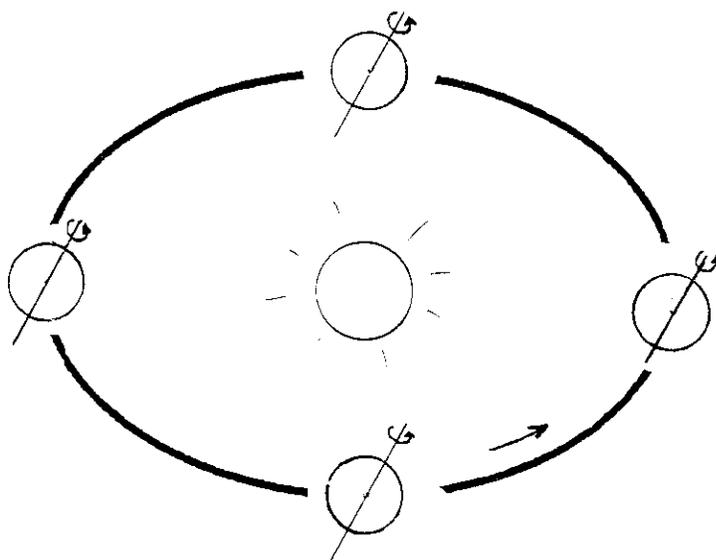


fig. 9

Dans le cadre d'une démarche scientifique (ce point est fondamental), nous n'avons pas d'argument pour montrer à de jeunes élèves (école, collège) les limites du modèle auquel nous venons de parvenir et qui n'est guère différent de celui de Copernic. Nous devons en outre reconnaître qu'il présente toutes les qualités d'un "bon" modèle : il donne une interprétation simple et satisfaisante aux phénomènes rappelés plus haut. Expliquer aux élèves qu'en "réalité" les trajectoires sont elliptiques relève du pur dogmatisme, voire du "mensonge" dans la mesure où il laisse croire en une sacro-sainte vérité qui n'existe pas.

Les insuffisances du modèle de Copernic seraient probablement accessibles à des élèves du lycée (bien qu'actuellement l'Astronomie soit un domaine rarement abordé). Mais il faudrait étudier préalablement avec eux le mouvement apparent de Mars et expliquer comment les observations de Tycho Brahé ont amené Kepler à modifier ce modèle. Il conviendrait aussi de montrer avec un soin tout particulier que cette modification est infime et, comme nous l'avons rappelé dans le paragraphe précédent, que les ellipses représentant la trajectoire des différentes planètes sont presque des cercles.

En résumé :

1. Les phénomènes accessibles à des enfants de l'école ou du collège ne peuvent conduire qu'au modèle de Copernic.

2. Le passage au modèle de Kepler nécessite de montrer l'insuffisance de celui de Copernic. Les phénomènes que cela amène à envisager requièrent une maturité les réservant aux élèves du lycée.

4. LES DANGERS D'UNE CONNAISSANCE MAL ASSIMILEE

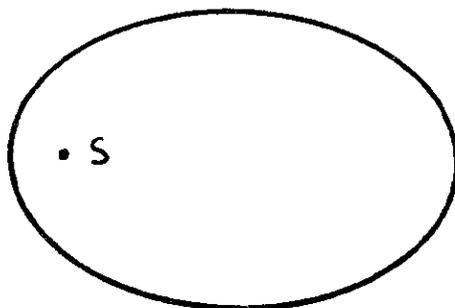
Ainsi que nous l'avons précisé en introduction, les instituteurs (qu'ils soient titulaires ou en formation initiale) "savent" que la trajectoire des planètes est elliptique. Un questionnement plus précis montre toutefois que cette connaissance est mal assimilée. Deux représentations aux conséquences étonnantes sont fréquemment rencontrées :

1. Soleil au centre d'une ellipse très excentrée.

Il s'agit très probablement d'une mauvaise interprétation du schéma classique de la figure 9 que l'on trouve par ailleurs sur la plupart des manuels. Il y a confusion entre la trajectoire effective de la Terre, présentée à juste titre comme circulaire, et son apparence en projection : n'oublions pas qu'un cercle vu en perspective se présente sous la forme d'une ellipse...

2. Soleil au foyer d'une ellipse très excentrée (fig.10)

fig.10



Selon ces deux représentations, l'existence des saisons est directement liée à la distance Terre-Soleil, plus grande en hiver qu'en été. Les conséquences sont étonnantes :

- Dans le premier cas, il y aurait deux hivers et deux étés par an !
- Dans la logique du second cas, les saisons ne seraient pas inversées dans l'hémisphère Sud.

Les personnes concernées reconnaissent aisément ces incohérences dès qu'on les incite à envisager les conséquences de leur représentation. Il est toutefois inquiétant de se dire que de telles idées ont peut-être été enseignées à de jeunes enfants.

CONCLUSION

Loin de jeter la pierre aux instituteurs dont les aptitudes intellectuelles et l'ouverture d'esprit ne sont nullement en cause (le recrutement se fait actuellement à BAC + 2 et de nombreux élèves-maîtres possèdent davantage), il convient de s'interroger sur l'efficacité de l'enseignement scientifique qui a laissé s'installer (et peut-être même induit) de telles

confusions, et qui n'a pas donné, à certaines personnes au moins, l'esprit critique leur permettant de percevoir l'incohérence de leurs représentations.

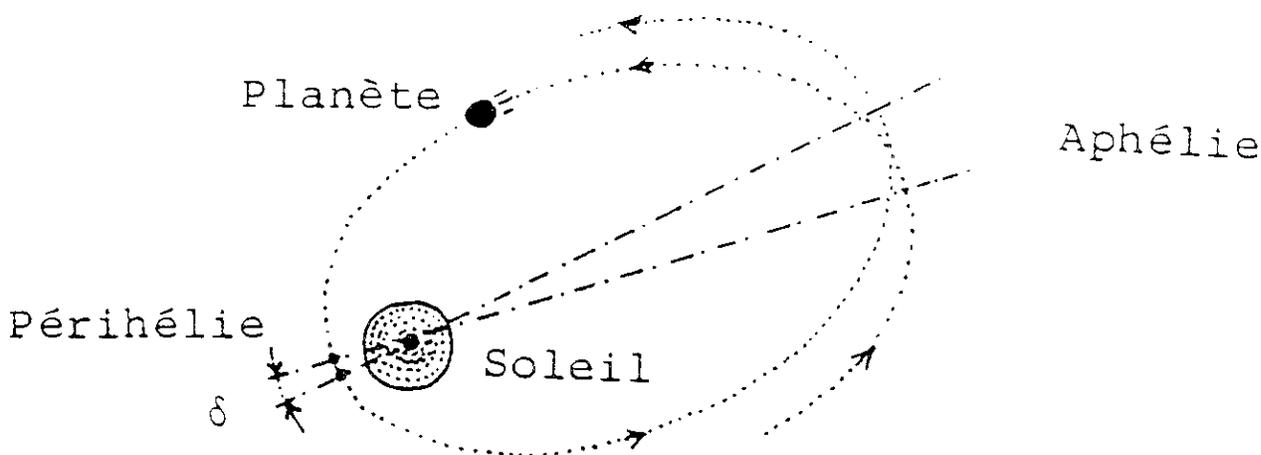
Au delà du problème de la trajectoire des planètes, se pose celui de la pratique d'une démarche scientifique. Je voudrais faire référence ici à une conférence donnée voilà plus de 20 ans par Richard FEYNMAN qui, rappelons-le, fut prix Nobel de physique en 1965. Au cours de celle-ci, il invite les enseignants scientifiques réunis autour de lui, à bannir de leurs propos des expressions telles que "la science nous apprend que..." et de les remplacer par "telle expérience nous apprend que..." Les élèves de tous niveaux sont en droit de connaître le plus précisément possible les conditions de l'expérience qui a été réalisée, afin d'apprécier eux-mêmes si la conclusion qui a été tirée est raisonnable ou non. Exercer le sens critique des élèves, lycéens et étudiants est la meilleure garantie pour qu'une génération donnée ne transmette ses erreurs à la génération suivante.

mars 1989

Jean-Michel Rolando
(Ecole Normale de Bonneville)

APPENDICE : L'avance du périhélie de Mercure

Selon le modèle de Kepler, chaque planète décrit une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers. Le périhélie est le point de la trajectoire le plus proche du Soleil, l'aphélie est le point le plus éloigné. On a pu observer que l'ellipse représentant la trajectoire de Mercure tournait autour du Soleil d'un mouvement très lent : environ 40 secondes d'angle par siècle. Dans leur langage, les astronomes parlent de "l'avance du périhélie de Mercure". Le schéma ci-dessous donne une idée de la trajectoire résultante, étant entendu que la vitesse à laquelle le périhélie "avance" a été considérablement exagérée.



Ainsi que cela a été précisé, la théorie newtonienne ne permet pas d'expliquer ce phénomène. Il faut avoir recours à la théorie de la relativité générale pour en avoir une interprétation satisfaisante.

Référence : FEYNMAN (R) - Qu'est-ce que la science ? in "La nature des lois physiques" (Le Seuil, collection Points sciences 1980).

NOUVELLES DE L'AUTRE COTE DE LA GRANDE MARE

Lors du mini-colloque d'Onsay en avril 1989, notre ami Darrel Hoff, directeur associé du projet STAR, avait présenté un certain nombre d'activités pour des élèves de Collège ainsi que des exemples de matériels pédagogiques simples mais efficaces. C'est ainsi que "la sphère de Darrel" a rejoint "la boîte d'Alphonse" dans la liste des instruments de base des Ecoles d'Eté.

Un objectif principal du projet STAR est de mettre au point de tels matériels, faciles à fabriquer, peu coûteux et servant de support à un enseignement scientifique fondé sur la pratique et s'appuyant sur l'Astronomie. On en trouvera une description dans les Cahiers Clairaut, n°46. Or, le bulletin de liaison du projet STAR, STARnews (t.IV,2,Hiver 90), annonce leur commercialisation aux Etats-Unis par Learning Technologies Inc.(*) qui construit aussi le "Starlab". La consultation du catalogue est éloquent. Ainsi, un écolier américain pourra construire sa lunette (à peu près équivalente à celle de Galilée) pour \$2.00. Pour \$1.00, la "sphère de Darrel" permet à la fois de repérer le trajet du Soleil et de construire un mini globe céleste. Le plus spectaculaire est sans doute un réseau holographique (12x22cm, \$5.00 seulement) dont ceux d'entre nous qui ont pu l'essayer savent à quel point il est performant. Ces "gadgets" sont remarquablement ingénieux: avec un simple bloc de paraffine, on construit un petit photomètre à extinction. Une torche et un bout de fibre optique (budget: moins de \$10.00, piles non fournies!) permettent d'accéder à une estimation correcte de l'ordre de grandeur des distances stellaires.

Tout cela n'est qu'un aspect particulier d'un problème plus vaste: comment améliorer l'enseignement scientifique aux Etats-Unis. Depuis quelque temps, la National Science Foundation subventionne généreusement (du moins à nos yeux d'Européens) plusieurs programmes comme STAR (Enseignement des Sciences à partir de l'Astronomie), SPICA (Programme de Soutien et de Développement de l'Enseignement de l'Astronomie) et depuis peu ESTEEM, plus nettement orienté vers les Sciences de la Terre et dont le directeur est Darrel Hoff.

Cet effort paraît immense mais nous ne sommes plus à l'échelle européenne. L'année dernière, en un stage de trois semaines, SPICA a formé 29 enseignants venus de divers endroits des Etats-Unis. A cette date, ces stagiaires auront à leur tour animé 36 stages dans 18 états, touchant ainsi une population de 2000 enseignants. Un nouveau stage de formation aura lieu cette année à Boston et nous sommes cordialement invités à venir sur place observer son déroulement.

Le projet ESTEEM fonctionne sur les mêmes bases avec un budget de \$773,000 et vise à améliorer la qualité de l'Enseignement des Sciences de la Terre. On formera chaque année pendant trois ans 40 professeurs volontaires soigneusement sélectionnés, formation assurée par un "panel" d'universitaires de haut niveau (Massachusetts Institute of Technology, Harvard et Université de Boston). Une large place sera réservée à des activités pratiques: construire des maquettes ou des cartes, excursions sur le terrain. Ces stagiaires devront à leur tour former d'autres enseignants.

Contrairement à STAR, le projet ESTEEM ne cherche pas à élaborer des matériaux nouveaux mais plutôt à adapter aux élèves et aux exigences des programmes ce qui existe déjà. Comme pour les autres projets, on insiste sur les activités pratiques plutôt que sur les cours magistraux.

J.VIALLE

(*): Renseignements auprès de Bruce Bloomfield, Learning Technologies Inc., 59 Walden Street, Cambridge, MA 02140, U.S.A.

NAVETTE SPATIALE - VOL ORBITAL ET RENDEZ-VOUS

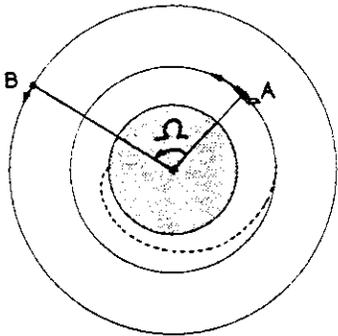
Nous donnons ci-dessous la suite et la fin de l'étude de Claude Nicollier, astronaute à l'Agence Spatiale Européenne. Nous renouvelons nos remerciements à Bernard Hauck, Vice-Recteur de l'Université de Lausanne et aux éditions Payot qui nous ont autorisés à reproduire cet excellent exposé.

5. Rendez-vous

5.1. Stratégie générale

La figure 16 illustre la stratégie générale pour l'accomplissement d'un rendez-vous avec la navette. Il s'agit tout d'abord de partir à temps, pour effectuer la montée dans le plan de l'orbite de la cible. On s'installe

- PARTIR "DERRIERE" LA CIBLE, SUR UNE ORBITE PLUS BASSE



- L'ANGLE DE PHASE DIMINUE AVEC LE TEMPS (Ω)

- DEMANDER AUX ORDINATEURS DE BORD DES SOLUTIONS DE GUIDAGE POUR ALLER DE A A B

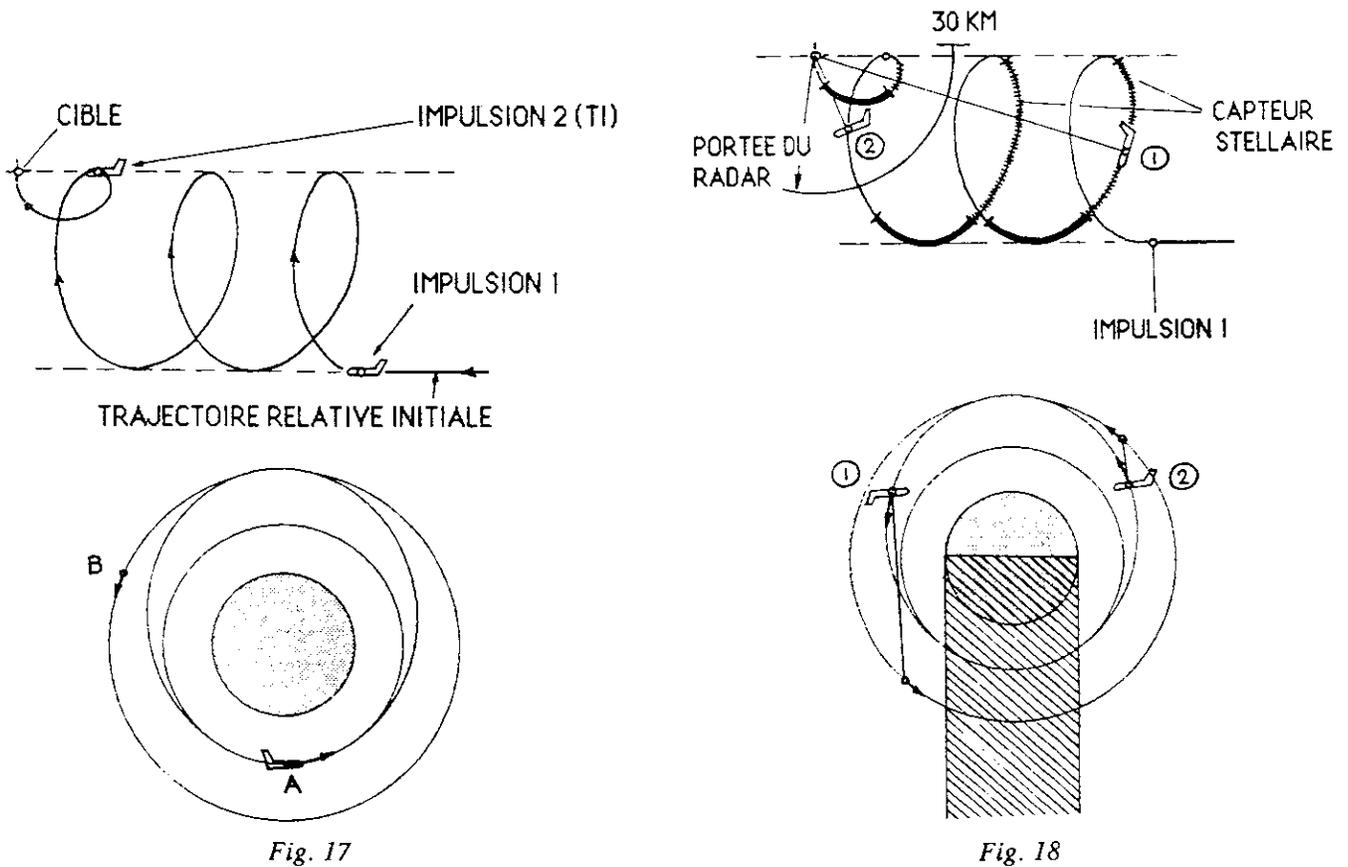
sur une orbite circulaire de parcage, plus basse que celle de la cible et derrière celle-ci. L'angle de phase, entre les rayons vecteur centre de la Terre-navette et centre de la Terre-cible, va diminuer avec le temps -troisième loi de Kepler). On demande alors aux ordinateurs de bord de nous fournir des solutions de guidage pour passer, par étapes, de notre position (A) à l'emplacement de la cible (B). On s'approche alors de la cible par étapes successives, en utilisant les détecteurs de position relative de la cible de manière appropriée (capteurs stellaires, radar), de façon à améliorer la précision de la navigation à mesure que l'on s'approche du but.

Fig. 16
Stratégie du rendez-vous.

5.2. Profil du rendez-vous, vu du satellite...

A partir de l'orbite de parcage, l'étape initiale du rendez-vous consiste à accomplir la première partie d'un transfert de Hohmann vers l'orbite de la cible, c'est à dire de se placer sur une orbite elliptique de transfert tangente à l'orbite de parcage et à l'orbite de la cible. Dans un référentiel lié à la cible et tournant autour de la Terre avec elle (référentiel terrestre local centré sur la cible, voir fig 4 et 5), l'orbite de parcage peut être représentée par une ligne horizontale en dessous de l'horizontale passant par la cible, et parcourue de droite à gauche par la navette, pour un mouvement orbital du satellite vers la gauche (fig 17). L'injection sur l'orbite de transfert s'effectue par une impulsion purement posigrade (impulsion 1). La trajectoire relative de la navette par rapport à la cible prend alors la forme d'une série de boucles tangentes à l'orbite de parcage et à l'orbite de la cible. La forme de ces boucles est dictée par la deuxième loi de Kepler : la vitesse orbitale de la cible étant constante (orbite circulaire), on voit que la navette, au périégée de son orbite, a une vitesse plus grande que la cible, et à l'apogée plus petite. Sur la figure 17, la distance horizontale entre les sommets des boucles successives est une mesure du rapprochement horizontal navette-cible pour chaque orbite de la navette. Cette distance est d'environ 30 km par orbite, et chaque boucle

est parcourue en approximativement 1 h 30. Le temps exact d'exécution de l'impulsion 1, et la géométrie de l'orbite de transfert sont calculés de manière à ce qu'un des points d'apogée de l'orbite de la navette soit à environ 15 km derrière la cible. En ce point, une nouvelle impulsion posigrade (appelée insertion terminale et désignée par impulsion 2 sur la figure) est fournie pour placer la navette sur une nouvelle orbite de transfert qui va aboutir, environ 1 h 30 plus tard, à l'emplacement de la cible. Il faut noter que, de façon à arriver au voisinage de la cible le matin du jour orbital, pour pouvoir accomplir l'approche finale de la cible avant la nuit, l'impulsion 1 est effectuée vers le milieu de la nuit orbitale. Le bas de la figure 18 permet d'en comprendre les raisons : elle illustre l'orbite de transfert résultant de l'impulsion 1. Le périhélie de cette orbite (point de l'impulsion) étant de nuit, l'apogée est de jour, donc le point de rendez-vous se fera dans des conditions d'éclairage favorables.



5.3. Utilisation de détecteurs de position de la cible durant le rendez-vous

On a déjà indiqué plus haut que la navette est équipée de pareils détecteurs et que ceux-ci sont utilisés pour améliorer la précision de la navigation relative navette/cible. Chronologiquement, le premier détecteur à être utilisé est le capteur stellaire dont le champ de vision est orienté suivant l'axe-Z de la navette, c'est à dire suivant l'axe perpendiculaire au plan des ailes, et vers le haut, ou en direction du plafond du cockpit. Les données de position de la cible obtenues par le capteur sont transmises en permanence aux ordinateurs de bord. Pendant presque toute la manoeuvre du rendez-vous, sauf pendant l'exécution de manoeuvres ou impulsions, l'attitude de la navette est prise en charge par l'autopilote digital qui est configuré de façon à ce que la cible se trouve toujours suivant l'axe-Z de la navette. Cette attitude présente de nombreux avantages : premièrement, elle permet de suivre la cible au moyen du capteur stellaire-Z ; ensuite,

-Z est aussi l'axe du collimateur optique, utilisé essentiellement durant la phase manuelle en fin de rendez-vous. Enfin, la position de la cible sur l'axe -Z ou dans son voisinage est idéale en fin de rendez-vous car elle offre une bonne visibilité de la cible par les grands hublots situés au plafond du cockpit dans sa partie arrière. De plus, cette position relative au-dessus de la soute de la navette est idéale pour toutes les opérations de récupération ou de maintenance sur le satellite. Vue de quelques dizaines ou quelques centaines de kilomètres (dépendant de sa dimension), la cible est visible dans le ciel comme une étoile brillante. Ceci est dû au fait que, comme la Lune, elle nous renvoie une partie du rayonnement solaire incident sur sa surface. Par conséquent, elle n'est visible de la navette que pendant le jour orbital, durant une moyenne de 50 min par orbite (dépendant de l'orientation de l'orbite par rapport à la ligne Terre-Soleil). De façon à éviter la présence du Soleil dans le champ du capteur stellaire -Z, les pointages de la cible ne se font qu'avec le Soleil "dans le dos", donc dans la partie descendante de l'orbite, en direction du péricée. Les secteurs "nuit" de l'orbite relative navette/cible sont marqués d'un trait renforcé sur le haut de la fig 18, les secteurs où le capteur stellaire -Z est utilisé sont indiqués d'un trait hachuré. A partir d'une distance de 30 km environ, et jusqu'au point de rendez-vous, le radar de bord est utilisé non seulement pour une détermination de la direction de la cible, mais également de sa distance R et du taux de rapprochement navette/cible dR/dt . Ces données sont également transmises aux ordinateurs de bord et la précision du vecteur d'état relatif de la cible par rapport à la navette s'en trouve ensiblement améliorée. Dans le futur, il est question de remplacer le radar par un laser pour la mesure de position et de vitesse radiale de la cible.

5.4. La dernière orbite

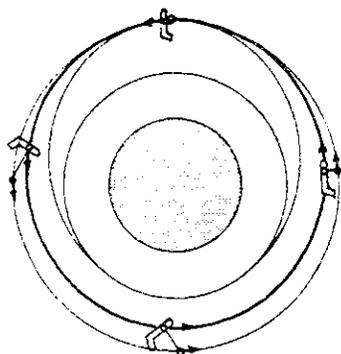
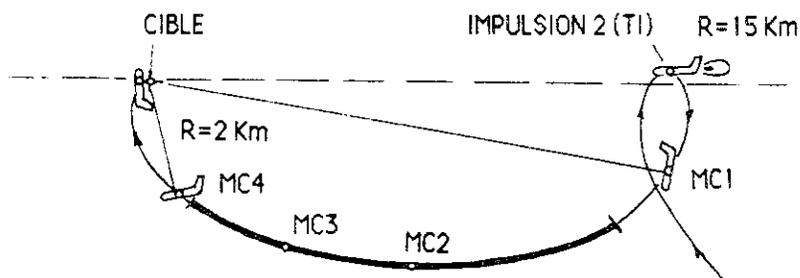


Fig. 19
La dernière orbite.

La dernière orbite relative commence environ 15 km derrière la cible, à la même hauteur que celle-ci. C'est le point d'insertion terminale ou TI (Terminal Insertion). Une impulsion posigrade est nécessaire pour placer la navette sur une orbite qui va nous amener au voisinage de la cible 1h 30 plus tard (fig19). L'amplitude et la direction de cette impulsion (impulsion 2), en tant que solution de guidage fournie par les ordinateurs de bord, peut être acceptée avec confiance car ces données sont basées sur un vecteur d'état relatif très précis à la suite de l'accumulation de données de position de la cible obtenues par les capteurs stellaires et le radar. Peu après l'impulsion 2 au point TI, on est plongé à nouveau dans la nuit orbitale. Le radar continue cependant à nous fournir des données

de position de la cible. Des manoeuvres de correction de faible amplitude, désignées MC1 à MC4 (Midcourse Correction 1-4) sont accomplies manuellement, sur la base de solutions de guidage, pour aboutir à un point situé environ

100 m devant la cible. Le lever du Soleil a lieu alors que la navette est environ 2 km en dessous de la cible. L'équipage, qui voit la cible par les fenêtres supérieures du cockpit, sélectionne un mode de maintien d'attitude inertielle pour la navette, et commande manuellement les translations pour parvenir au point d'attente sur le vecteur vitesse de la cible.

5.5. L'approche finale

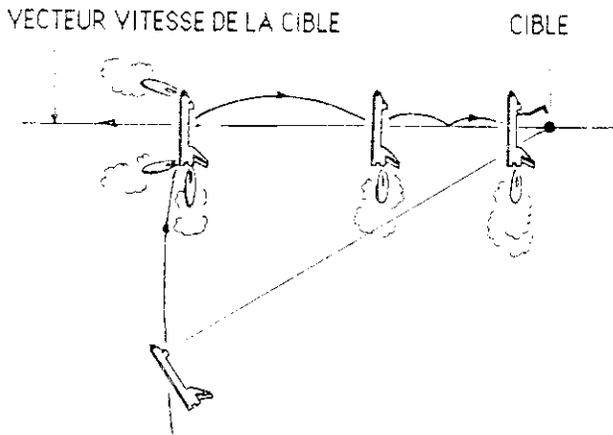


Fig. 20

Stabilisation sur le vecteur vitesse cible et approche finale.

Au moment de l'arrivée sur son point d'attente, la navette est orientée le nez en haut, l'arrière du fuselage en direction du centre de la Terre, et son propre vecteur vitesse perpendiculaire au plan des ailes (fig 20).

L'autopilote digital est configuré pour maintenir cette attitude par rapport au référentiel terrestre survolé. La position sur le vecteur vitesse de la cible est instable : tout écart par rapport à cette position va être à l'origine d'un écart croissant, si bien que la navette doit être "pilotee" sur le point d'attente. Elle ne peut pas être laissée à elle-même, mais des corrections en translation doivent périodiquement être effectuées. Pour engager un mouvement de rapprochement vers la cible, une

manoeuvre de translation rétrograde est nécessaire. On a vu plus haut qu'une impulsion rétrograde, à partir d'une orbite circulaire, va rapidement nous faire perdre de la hauteur (fig 4). Par conséquent, en même temps que le mouvement de rapprochement de la cible est initié, une composante de vitesse est également donnée vers le haut, si bien que la navette va effectuer un saut en direction de la cible et par-dessus son vecteur vitesse. Les jets des propulseurs RCS activés au moment de l'initiation de la manoeuvre de rapprochement sont visibles sur la fig 20. Au moment où la trajectoire du saut rejoint le vecteur vitesse, ce qui est détecté par l'équipage au moyen d'une visée de la cible par le collimateur optique face à un des hublots supérieurs, une nouvelle impulsion est donnée vers le haut pour commencer un nouveau saut et ainsi de suite jusqu'à proximité de la cible.

Une fois le rendez-vous accompli, les activités prévues dans le plan de vol pour les travaux de maintenance, de réparation, ou d'installation du satellite dans la soute peuvent commencer. Ces travaux sont accomplis soit à l'aide du bras manipulateur, soit au moyen d'une sortie extra-véhiculaire de deux astronautes.

5.6 Résumé

Un résumé illustré des manoeuvres nécessaires à l'accomplissement d'un rendez-vous est présenté sur la fig 21. Rappelons qu'il est nécessaire de partir à l'heure pour pouvoir effectuer une montée en orbite dans le plan de l'orbite de la cible. On se place sur une orbite circulaire plus basse que la cible, et derrière celle-ci. A un moment donné, et en tenant compte des conditions d'éclairage de la cible pour la suite du rendez-vous, on donne une impulsion posigrade à la navette pour la placer sur une orbite de transfert de Hohmann entre son orbite initiale et l'orbite de la cible. On effectue plusieurs révolutions autour de la Terre sur cette orbite de transfert, et on utilise au mieux les détecteurs de position de la cible disponibles, en particulier le capteur stellaire -Z pendant le jour orbital, et le radar de rendez-vous. Arrivé à l'apogée de l'orbite de transfert à près de 15 km de la cible, au point de l'insertion terminale, on donne à la navette une nouvelle impulsion posigrade qui va l'amener, 1h 30 plus

tard, à 100m devant la cible. La navette est alors stabilisée sur le vecteur vitesse de la cible, et une manoeuvre de rapprochement de la cible est effectuée sous la forme d'une série de sauts de faible amplitude au-dessus du vecteur vitesse de la cible. La position de la navette sur le vecteur vitesse de la cible est instable, et l'équipage doit périodiquement apporter des corrections de translation pour la maintenir, alors que l'attitude est maintenue par l'autopilote digital.

Claude Nicollier

Bibliographie :

Introduction to Level-A Flight Design, Mission Planning and Analysis Division, Johnson Space Center, May 1981.

Contingency Rendezvous, Mission Operations Directorate, Flight Design & Dynamics Division, Johnson Space Center, July 1987.

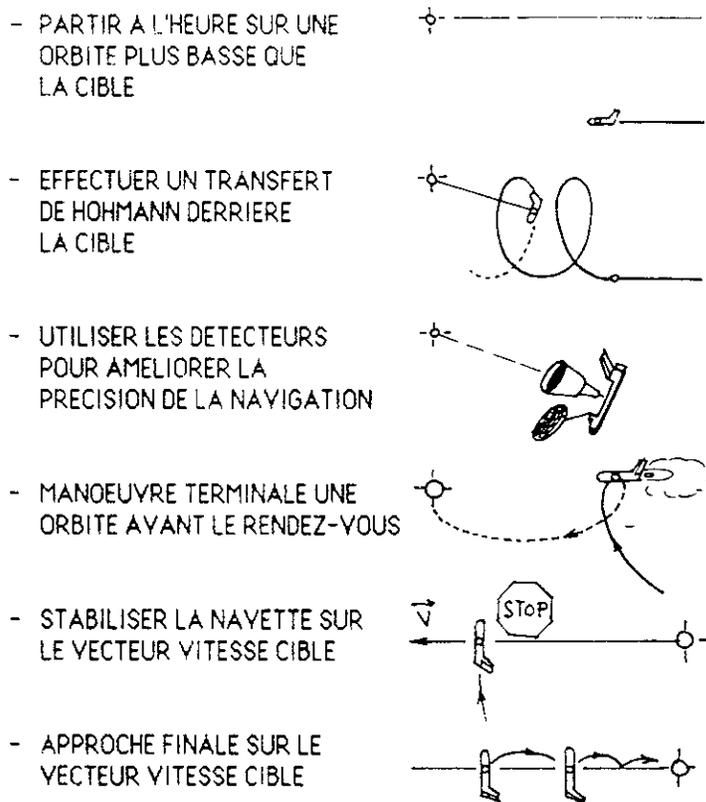
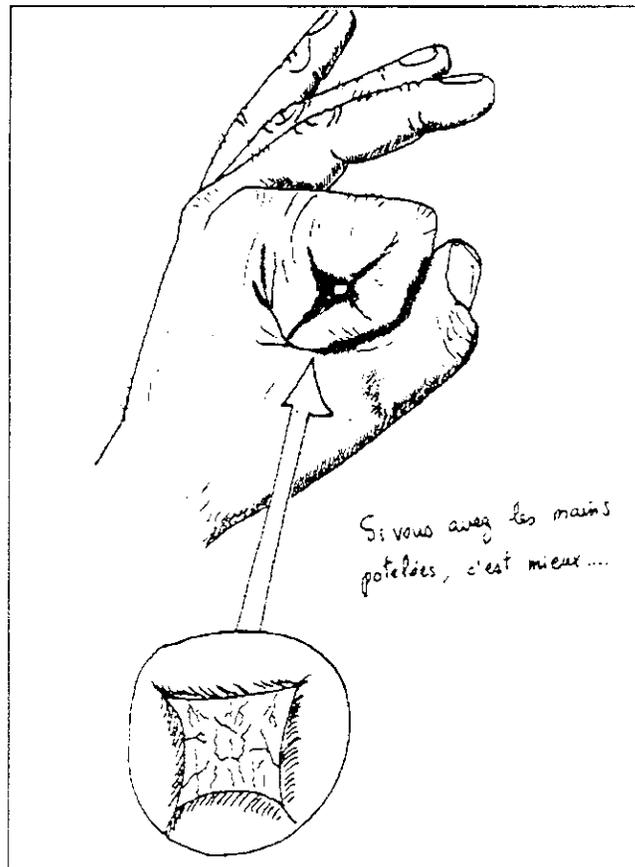


Fig. 21

Résumé des manœuvres nécessaires à l'accomplissement d'un rendez-vous.

Rubrique : Au petit curieux - Optique curieuse

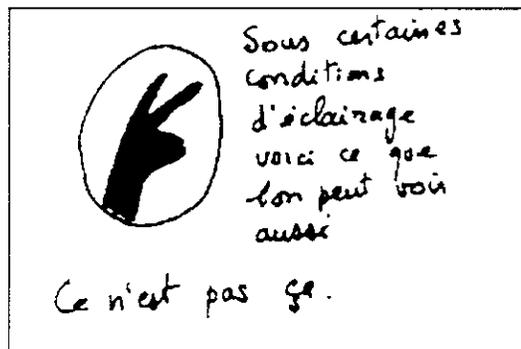


Placez votre main selon la figure. Regardez une surface claire, uniformément éclairée à travers le petit trou, en donnant un mouvement de va-et-vient à votre main.

Vous observerez des "craquelures" qui rappellent les méandres du Nil, vus d'avion.

Ce phénomène n'a, à ma connaissance, pas reçu d'explication. Un de mes collègues (E. Pécontal) pense qu'il s'agit d'une vue du fond de l'oeil (il a reconnu une tache qu'il s'était faite en observant le soleil).

Courage ! ce phénomène est difficile à observer ; soyez persévérant. Si vous renoncez, vous pourrez toujours faire l'observation plus commune ci-dessous.



DU NOUVEAU SUR TITAN L'ATMOSPHERE DU SATELLITE DE SATURNE SONDEE PAR UNE ETOILE

L'occultation en juillet dernier par Titan de l'étoile brillante 28 Sagittarii a permis de nouvelles découvertes sur ce satellite de Saturne que, pourtant, Voyager 2 avait observé de très près en août 1981. Titan est le seul astre du système solaire, avec la Terre, à posséder une atmosphère riche en azote. Cette similitude s'étend à la pression atmosphérique qui est une fois et demi la pression atmosphérique terrestre, et à la présence d'océans, constitués, il est vrai, non pas d'eau mais très probablement d'éthane. Cette observation a permis d'étudier l'atmosphère de Titan dans une région située entre 200 et 500 km d'altitude que Voyager 2 n'avait pas du tout observée. De plus, la condition particulière de l'observation - l'ombre de Titan est passée tout près de Paris - a donné lieu à l'observation d'un phénomène optique très rare, appelé "éclair central", qui a permis de mesurer l'aplatissement de la stratosphère.

Il semble a priori paradoxal qu'une observation effectuée depuis le sol terrestre, d'où le disque de Titan n'est pratiquement pas résolu, puisse rivaliser avec celles de Voyager dont la résolution spatiale atteignait quelques km sur un astre dont le diamètre est de l'ordre de 5000 km. Cette situation tient à la méthode utilisée. Alors que l'image obtenue dans un télescope provient de la lumière solaire réfléchie, l'occultation fournit la lumière de l'étoile occultée transmise par l'atmosphère de Titan: la résolution spatiale est alors définie par la résolution temporelle, puisque c'est le déplacement relatif de la source de lumière stellaire et du satellite qui passe devant elle qui localise la région sondée, anneau ou atmosphère.

Les occultations d'étoiles brillantes par des corps du système solaire - Lune, planètes, satellites, astéroïdes... - sont des phénomènes recherchés, d'autant plus rares que les étoiles sont brillantes. L'occultation du Soleil par la Lune, improprement qualifiée d'éclipse de Soleil, est la plus connue. C'est par une technique d'occultation qu'on a découvert depuis la Terre les anneaux d'Uranus et les arcs d'anneaux de Neptune, avant que Voyager n'en confirme l'existence, ou encore la présence d'une atmosphère autour de Pluton, la seule planète du système solaire à n'avoir pas été visitée par une sonde spatiale.

Les occultations constituent une technique éprouvée d'étude des corps du système solaire depuis les années 1950, époque où l'on a commencé à les prévoir avec une précision suffisante, non seulement dans le cas d'étoiles brillantes, dont le mouvement propre est connu avec une précision suffisante, mais aussi dans le cas des étoiles plus faibles, qui sont beaucoup plus nombreuses et augmentent donc considérablement la probabilité du phénomène. Alors qu'on s'attend à ce que Titan occulte une étoile en moyenne tous les 4 ans, l'occultation d'une étoile aussi brillante que 28 Sagittarii, de magnitude visuelle apparente 5,5, ne se produit qu'une fois en 80 ans. Pour pouvoir observer le phénomène, il faut être capable de prédire avec précision la trajectoire de l'ombre portée sur Terre, qui définit les lieux d'où l'observation est possible. Cette prévision

s'effectue en deux temps. On commence par comparer les éphémérides des planètes satellites ou astéroïdes aux positions des étoiles, ce qui permet de sélectionner les occultations possibles. Ensuite il faut effectuer des mesures de position très précises à la fois de l'étoile et du corps céleste qui va l'occulter pour déterminer les lieux d'observation. On obtient actuellement une précision des positions relatives de l'ordre de 0,1", ce qui correspond à une longueur de 200 mètres sur la Lune, 130 km sur l'astéroïde Cérès, 310 sur Jupiter, 620 sur Saturne et 2800 sur Pluton. Cette incertitude est donc de l'ordre de la taille des gros astéroïdes et dépasse celle des petits satellites de Jupiter et de tous les satellites de Saturne, à l'exception de Titan.

L'occultation, le 3 juillet 1989, de 28 Sagittarii par Titan était observable en Europe, en Afrique du Nord et au Moyen Orient. L'équipe de Bruno Sicardy a utilisé les observatoires de Meudon et du Pic du Midi, en France et de Catania, sur le Mont Etna, en Italie. Celle de W. Hubbard était basée en Israël et au Vatican. Deux phénomènes physiques différents contribuent à affaiblir la lumière de l'étoile au cours de son occultation: l'extinction, due à la diffusion par les molécules de l'atmosphère de Titan, et la réfraction différentielle provoquée par la variation de la densité de cette atmosphère avec l'altitude. La réfraction est le phénomène dominant, sauf au moment de l'éclair central; l'étude du phénomène permet d'interpréter les courbes de lumière observées et en particulier de déterminer la température moyenne, égale à 170 K, de la région de l'atmosphère située entre 250 et 500 km d'altitude. Cette région avait été qualifiée d'"ignorosphère" après les observations de Voyager, parce qu'elle correspondait à un trou entre les observations UV, au-dessus de 1270 km et les observations IR et radio, entre 0 et 200 km d'altitude.

L'observation effectuée à l'observatoire de Meudon a apporté des informations supplémentaires: au moment où l'ombre de Titan est passée à proximité, la lumière de l'étoile réfractée tout autour du limbe s'est pratiquement focalisée, produisant un accroissement brutal et bref de l'éclat, le fameux éclair central. De la structure temporelle de cet éclair, on a pu déduire que la stratosphère de Titan n'est pas sphérique, mais présente un aplatissement de 1,7%. Cet aplatissement, actuellement à l'étude, pourrait être dû à une super-rotation de l'atmosphère: la stratosphère de Titan connaîtrait des mouvements à grande échelle comparable à ceux observés dans Vénus.

L'éclair central n'a pas la même intensité aux différentes longueurs d'onde observées, ce qui s'explique par le phénomène de diffusion de la lumière par les molécules de l'atmosphère de Titan, et apporte des informations sur les conditions physiques dans cette basse atmosphère, à une altitude d'environ 200 km.

Il est assez piquant que des observations effectuées avec des petits télescopes, de 60 cm et 1 m d'ouverture, dans un site considéré à juste titre comme assez médiocre, étant donnée la pollution lumineuse dont souffre l'observatoire de Meudon, aient apporté des informations que Voyager n'avait pu fournir et qui seront utiles à la mission spatiale Cassini, qui prévoit l'envoi d'une sonde dans l'atmosphère de Titan !

Lucienne Gouguenheim

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

The Teaching of Astronomy

Proceedings of the 105 th Colloquium of the International Astronomical Union, Williamstown, Massachusetts, 26-30 July 1988, edited by Jay M. Pasachoff and John R. Percy, Cambridge University Press, 1990, xiv + 445 pages. ISBN 0-521-35331-9 (en anglais).

Depuis la création de la Commission 4B de l'UAI et le Colloque de Grenoble (1976), l'Enseignement de l'Astronomie a parcouru un bon bout de chemin. Tenu à Williamstown, Massachusetts en juillet 1988, le Colloque UAI n°105 a permis de faire le point de la situation. On en trouvera un compte-rendu dans les Cahiers Clairaut, n°44, pp.13-19, sous la plume de notre amie Cecilia Iwaniszewska.

L'ensemble des communications, publié par Cambridge University Press, est un ouvrage de fort belle présentation, très agréablement et très pertinemment illustré de planches tirées de livres d'Astronomie anciens. Quant au contenu, il est difficile d'en rendre compte de façon exhaustive tant le sommaire est dense et varié. Les communications sont rassemblées sous treize chapitres: Programmes de l'Enseignement Supérieur, Astronomie et Culture, Méthodes d'Enseignement, Pédagogie du Projet, Informatique et Astronomie, Manuels, Matériels Pédagogiques, Fausses Idées, Enseignement au Collège et au Lycée, Formation des Enseignants, Vulgarisation, Planetariums, et "last but not least", Problèmes propres aux pays du Tiers-Monde.

Cette richesse reflète bien la fantastique diversité des besoins et des approches et il serait dommage de considérer cet ouvrage simplement comme un manuel de référence où trouver des idées de manipes à utiliser avec ses élèves. Ce serait passer à côté de l'essentiel et ne pas voir que, derrière la variété des systèmes éducatifs, de grandes tendances se dégagent dans l'effort commun des astronomes et des enseignants. Presque partout en effet, on incite l'étudiant à s'impliquer dans son effort par des "travaux pratiques" (traduction bien imparfaite de "hands-on activities"). Apprentissage actif et interdisciplinarité sont les deux principes à la base des stratégies pédagogiques appliquées dans la plupart des pays représentés au Colloque. Ce sont les idées défendues depuis longtemps par le CLEA, dont les activités ont par ailleurs suscité un intérêt certain: la qualité rédactionnelle des Cahiers Clairaut, ainsi que l'efficacité des Ecoles d'Eté ont été remarquées.

On trouvera donc dans cet ouvrage un bilan presque complet de ce qui se fait actuellement dans le monde en matière d'Enseignement de l'Astronomie (de l'Ecole Elémentaire à l'Université) et de Formation des Enseignants. On pourra ainsi faire le point sur de nombreuses questions, de l'utilisation de l'ordinateur aux stratégies interdisciplinaires en passant par l'étude comparative de différents manuels... riche d'enseignement. Un ouvrage très stimulant en somme, même si par endroits planent certaines ombres: nos élèves confondent parfois Astronomie et Astrologie ou Ufologie et les "théories" Créationnistes sont encore vivaces: on ne sait pas toujours en Europe que dans certains comtés américains, il est rigoureusement interdit d'enseigner tout ce qui s'écarte de la Genèse, interprétée à la lettre.

Cet ouvrage est une référence indispensable à quiconque se préoccupe, à des degrés divers, d'enseigner ou de vulgariser l'Astronomie. Un index bien conçu (accompagné d'un Index par auteurs) permet de "naviguer" facilement dans cette masse d'information. On pourra donc mener des recherches par pays aussi bien que par thèmes. Il est bien entendu recommandé de savoir lire la langue de

Sir Edmond (Bailey) pour tirer tout le parti possible de cet ouvrage, mais on peut toujours solliciter l'aide d'un collègue angliciste: ce serait déjà une ébauche d'approche interdisciplinaire.

J. VIALLE

La physique du quotidien

par Istvan BERKES, Ed. Vuibert 1989, 308 pages.

Un très bon livre pour les physiciens (professionnels ou non) et tous les "curieux" en général. Des phénomènes observables dans la vie courante par chacun sont expliqués de façon simple, sans négliger les aspects quantitatifs qui permettent souvent d'en comprendre l'importance relative.

Toutes les branches de la physique sont abordées et l'astronomie est souvent présente : l'écoulement du temps, les satellites géostationnaires, l'expansion de l'Univers, le bleu du ciel, l'arc en ciel, le scintillement des étoiles, le diamètre apparent de la Lune à son lever, les marées (très bien expliquées), l'âge de la Terre, les glaciations,...

Avec beaucoup d'humour et juste le peu de formules nécessaires, Istvan Berkès professeur à Lyon I, explique le pourquoi, le comment et le combien de notre monde physique quotidien. Ce livre est à recommander à tous les bacheliers qui entreprennent des études scientifiques : ils découvriront autrement les grandes (et petites) lois de la physique.

Comment la Terre devint ronde

par J.P. Maury. Coll. Découvertes Gallimard No 52. Paris 1989. 176 pages.

Professeur de physique à Paris VII, J.P. Maury a déjà publié dans la même collection "Galilée, le messager des étoiles" (CC. 37). Il s'intéresse ici, avec le même bonheur, aux débuts de la science grecque (mathématiques, astronomie, physique) à travers les représentations de la forme de notre planète et de l'architecture de l'Univers. On retrouve tous les grands noms connus, de Thalès à Eratosthène, en passant par Philolaos, Eudoxe et Aristarque. Les nombreuses (et belles) illustrations montrent bien comment leurs modèles se font et se défont et la lecture du texte est très agréable. C'est une très bonne synthèse d'un chapitre important de l'histoire scientifique.

Mais avec ce titre, on s'attendrait à une évocation de la cartographie. Seule la carte de Ptolémée est présente. Pas de Mercator, Lambert ou Bonne. Pourtant l'astronomie s'est aussi développée aux 17^e et 18^e siècles dans un but économique, où il fallait se repérer de façon fiable sur les océans à la découverte de nouvelles relations commerciales (le fameux "problème des longitudes" avec l'étude des éclipses des satellites de Jupiter par Roemer en 1676 conduira à une autre découverte : la finitude de la vitesse de la lumière).

Et les expéditions de La Condamine au Pérou, et de Maupertuis et de Clairaut en Laponie (1736) avaient pour but de déterminer la vraie forme de la Terre "ronde": aplatie à l'Equateur (comme le pensait Cassini), ou aux pôles selon la thèse de Newton, et réaffirmée par Clairaut. Ces célèbres mesures d'arcs de méridien conduiront soixante ans plus tard à notre mètre étalon sur lequel s'appuiera le système métrique décimal.

En résumé : un très bon livre, mais qui ne remplit que partiellement les objectifs du titre choisi.

Michel Toulmonde

Le noir de la nuit

une énigme du cosmos, par Edward Harrison ; collection "science ouverte", 320 Pages (120 F) ; éd Seuil 1990.

Pour tout un chacun, la question ne se pose pas, la nuit, "il fait noir". Il y a même des petits enfants qui en ont peur. Pourtant, ce noir étonne les astronomes. Depuis Newton, ils pensent à un espace illimité peuplé quasi uniformément d'étoiles et le raisonnement les conduit à une situation paradoxale d'un ciel nocturne aussi brillant que le Soleil. L'observation dit "nuit noire", le raisonnement "nuit claire comme le jour" : une véritable énigme.

Edward Harrison qui enseigne l'astronomie et la physique à l'Université du Massachusetts, l'étudie en suivant le fil de l'histoire car elle se rattache finalement à un vieux débat : l'Univers est-il fini ou infini ? Dans les premières conceptions du monde, naturellement géocentriques, tout l'Univers connu, Soleil, Lune et les cinq planètes était comme enveloppé dans la sphère des fixes, celle des constellations. C'est encore le cas des conceptions héliocentriques héritées de Copernic, mais Thomas Digges, dans sa "Parfaite description des orbes célestes" (1576) disperse les étoiles en dehors de cette sphère, l'idée d'un espace illimité se fait jour. Giordano Bruno ne pouvait concevoir qu'une surface existât qui aurait limité l'Univers : "je ne cesserais de m'interroger : qu'y a-t-il au delà d'elle ?" On comprend qu'à se poser des questions pareilles, le pauvre Bruno se soit attiré de graves ennuis...

Pour Newton, c'est donc une nécessité que les étoiles soient ainsi réparties à l'infini dans un espace évidemment euclidien : dans un espace limité, leurs attractions mutuelles les feraient s'effondrer les unes sur les autres.

Son ami Halley examine alors comment brillent ces étoiles sachant que l'éclat se réduit au quart de sa valeur quand la distance de l'astre double (en première approximation, on suppose toutes étoiles de même éclat intrinsèque). Il considère alors l'éclat total de toutes les étoiles qui sont sur une couche sphérique de rayon R ; sur une autre couche de rayon $2R$ donc de surface quadruple, il y a quatre fois plus d'étoiles (on les suppose toutes régulièrement réparties) et comme elles brillent quatre fois moins que les premières, les deux couches ont le même éclat.

Or, remarque Loys de Chéseaux (1718-1751), dans chaque direction, on finit par atteindre une étoile. C'est comme dans une forêt, dans chaque direction, on finit par voir un tronc d'arbre et les limites de la forêt restent invisibles. L'idée est reprise par Heinrich Olbers (1758-1840) qui formule le paradoxe auquel son nom reste associé (mais cette histoire montre qu'il a eu beaucoup de prédécesseurs) : Toutes les sphères brillantes de Halley ajoutent leurs éclats, le ciel de la nuit devrait donc être brillant comme le Soleil.

Il ne restait plus aux astronomes, depuis Olbers, qu'à trouver des explications. Toutes les théories ont été mises à contribution, plus ou moins mises à la torture, sans être jamais tout à fait satisfaisantes. Harrison les passe toutes très honnêtement en revue. Il s'étonne d'ailleurs que beaucoup d'auteurs aient omis de faire intervenir le caractère fini de la vitesse de la lumière. L'écrivain, le poète Edgar Allan Poe, y avait pensé, lui : dans un Univers où les étoiles ne brillent que durant un temps fini (et à l'époque de Poe, on pensait que ce temps était beaucoup plus bref que l'estimation actuelle), nous ne voyons que jusqu'à une distance finie, l'horizon visible ; conclusion, l'univers visible est finalement trop petit pour que les étoiles recouvrent le ciel.

Cette explication intuitive conduirait-elle à la bonne solution ? Harrison le pense. Il calcule le niveau de l'énergie globale

de l'Univers si toute la matière y était annihilée en énergie ; cela le conduit à une température de 20 Kelvins ; on est loin des 6000 Kelvins de la surface du Soleil ; alors rien d'étonnant à ce que la nuit soit noire.

Oui, mais le calcul qui conduit à 20 K tient-il compte de toute la matière de l'Univers ? Le livre de Harrison est passionnant, aussi bien dans sa partie historique, la plus longue, que dans sa conclusion actuelle mais je n'oserais pas dire que le paradoxe d'Olbers est définitivement éclairci (le mot s'impose). Les petits enfants, en tout cas, continueront à avoir peur du noir comme quand Poil de Carotte devait aller fermer le poulailler. Tant mieux diront les astronomes, il y a déjà bien trop de pollution lumineuse du ciel nocturne et tant pis si les théoriciens continuent à "prouver" que la nuit devrait être claire comme le jour.

Steige 1988

Compte rendu de l'école d'été d'astronomie, 100 p.(50 F) en vente au planétarium de Strasbourg.

On retrouve avec plaisir dans ce compte rendu la richesse et la diversité qui font le succès des universités d'été du CLEA. En tête, un remarquable exposé de H.Legros sur "La Terre, notre planète" ; toute la physique du globe. Ensuite les rapports sur les ateliers et les travaux pratiques, depuis la maquette du système solaire ou la détermination des magnitudes stellaires jusqu'à une série sur l'utilisation de l'informatique. Enfin, innovation de cette école d'été, un groupe d'une vingtaine de stagiaires sous la direction de Bernard Darchy, ingénieur à l'Observatoire de Nançay a construit et exploité un récepteur d'ondes radio solaires.

L'astrolabe

par L.Claus. Une réalisation PAE du lycée Bartholdi de Colmar qui a fait suite à une première étude de l'astrolabe au stage de Steige.

Objectif Cosmos

Comment l'homme a construit l'Univers, par Jean-Louis Heudier. Ce dossier luxueusement présenté comporte un exposé par J-L.Heudier sur la suite historique des conceptions de l'Univers puis un choix de textes allant de Platon à Alain en passant évidemment par Copernic, Bruno, Galilée, Kant, Poincaré et Einstein. Ensuite des données numériques et les légendes détaillées de 40 diapositives. Prix 300 F. En vente au CDDP de Nice et à l'Astrorama de PARSEC, 2 passage du Petit Parc, 06000 NICE.

DANS LES REVUES

Faute de pouvoir signaler tous les bons articles d'astronomie qui paraissent au cours du trimestre passé, voici un choix selon les auteurs ou les sujets ou la manière particulière dont ceux-ci sont traités.

Saluons d'abord une chronique que nous souhaitons régulière de Lucienne Gouguenheim dans Pour la Science : en février, la transcription de son interview diffusée par France Culture le 14 février, sur le métier d'astronome ; en mars, "A l'écoute des extraterrestres à Nançay" ; en avril, "Etoiles Mira, objets OH/IR et nébuleuses".

Dans le n°37 du JAF (Journal des Astronomes Français), le compte rendu des journées scientifiques de la Société Française des Spécialistes d'Astronomie et en particulier de la demi journée consacrée à l'enseignement de l'astronomie ; une note de Marie-France Duval sur "planétarium et enseignement" et de Cecylia Iwaniszewska "Bilan général de l'enseignement de l'astronomie en Europe".

Dans le n°44 (février 1990) de Espace Information, un remarquable exposé à ne pas manquer sur "La recherche de la vie dans l'Univers" par Jean Heidmann ; douze pages illustrées de façon fort opportune et une excellente synthèse du problème tel qu'il se pose en 1990. Quand paraîtra

le présent numéro des Cahiers, aura lieu à Val Cenis le troisième symposium international de Bioastronomie dont Jean Heidmann est justement l'organisateur.

Dans La Recherche, "Voyage au centre de la Galaxie" par J.Epelbaum et Y Lamour (février). "Faut-il remplacer le satellite Hipparcos?" par M.Perryman (mars). "L'odyssée Phobos : échec ou succès ?" par C de Bergh, A.Ammar et Y.Langevin.

Dans L'Astronomie (février) un dossier Neptune-Triton.

Dans Ciel et Espace (avril), "Austin : la comète du siècle?" par Yves Delaye.

CHRONIQUE DU CLEA - COURRIER DES LECTEURS

Après les vagabondages du 48, l'expédition du n° 49, printemps 1990, a été régulière et rapide. Il était servi à tous les abonnés, y compris ceux qui n'avaient pas encore pensé au réabonnement. Ce que leur rappelait une aimable figurine sur l'étiquette d'expédition. Ce qui a eu le meilleur effet auprès des retardataires. Le trésorier est sensible aux mots aimables joints souvent aux versements, merci à tous.

Le programme de Steige 1990, en plus des exposés par A.Acker, J-P.Parisot, P-F.Janssens et C.Dumoulin comporte une conférence sur "La notion de temps" par H.barreau. Le programme est présenté sous le double sigle du CLEA et du Planetarium de Strasbourg.

Edouard Branly et la T.S.F. : tradition ou innovation ? une journée de commémoration aura lieu au Palais de la Découverte, le mardi 9 octobre 1990 de 9 h à 17 h 30.

GNOMON, newsletter of the Association for Astronomy Education, reproduit dans son numéro de printemps 1990 l'article de notre amie Claude Piguet sur le Stellotoposcope. Traduit en anglais sous le même nom !

A propos d'astrologie : la note parue dans notre Cahier 49 à propos du nouveau et mauvais que sais-je? a suscité de nombreuses remarques de correspondants. Certains font remarquer que cette édition constitue un affront à la mémoire de Paul Couderc. Ce n'est certainement pas l'avis de l'éditeur: nous lui avons envoyé le numéro 49 avec une lettre d'explication et de protestation. Elle est restée sans réponse.

L'IREM d'Orléans édite une "Carte du ciel rétroprojectable" Un témoignage de l'activité de l'AEAAC qui édite régulièrement le petit bulletin "Le point de Lagrange".

Une histoire de méridien : une amie, ancienne professeur de philosophie, à la sortie d'un cours très savant du Collège de France fait quelques pas avec une dame qui suivait le même cours. Cette dame apprend que notre amie habite en face de l'Observatoire de Paris : "Mais alors, vous êtes sur le méridien de Paris ! N'en ressentez-vous pas les effets telluriques ?" Rappelons que les cours du Collège de France sont publics.

- L'Association pour la Connaissance et le Développement de l'Astronomie (ACDA), 4 rue des Pins, 77300 FONTAINEBLEAU, recherche des animateurs pour encadrer les stages qu'elle organise en juillet et août 1990. Ces animateurs, enseignants ou non, seront indemnisés et la totalité du matériel sera fourni par l'ACDA.

L'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999

Pour répondre à l'appel lancé dans le CC 49, voici, avec 9 ans d'avance, les premières images de l'éclipse.

D'abord la carte de la bande de totalité, qui traverse le nord de la France de Cherbourg à Strasbourg sur un peu plus de 100 km de large. L'ombre de la Lune se déplacera à près de 3000 km/h, de 10h 15 à 10h 30min.

Voici quelques résultats pour la ligne de centralité, concernant la hauteur et l'azimut du centre du Soleil (angle avec le méridien, négatif vers l'Est), ainsi que les instants du phénomène (en Temps des Ephémérides, décalé d'une minute environ sur TU tel que TU=TE-1min).

heure (TE) du maximum	lieu d'observation		hauteur du Soleil	azimut du Soleil	heures (TE)	
	latitude	longitude			début	fin
10.15	50°0	+2°4	47°7	-45°7	9.00	11.35
10.20	49°8	-1°0	49°9	-39°8	9.04	11.40
10.25	49°5	-4°3	51°9	-33°6	9.07	11.46
10.30	49°1	-7°3	53°6	-27°5	9.11	11.52

J'ai obtenu ces résultats en calculant et dessinant sur écran d'ordinateur les positions du Soleil et de la Lune, vus depuis un lieu donné (coordonnées géographiques) et à une heure donnée. La position de la Lune est corrigée de sa parallaxe topocentrique, car on ne l'observe pas depuis le centre de la Terre, et l'écart avec la position géocentrique est de l'ordre de 1 degré. Pour les détails des calculs, voir le fascicule 12 du CLEA "Simulations en astronomie sur ordinateur". La précision sur les instants est inférieure à 1 minute de temps. Celle sur les positions angulaires est de l'ordre de 0,005 degré.

Les quatre contacts Lune-Soleil sont indiqués sur le schéma. Si H désigne l'instant du maximum de l'éclipse (coïncidence des centres du Soleil et de la Lune), le premier contact se produit 1h15min avant (environ). C'est le début de l'éclipse partielle, les cercles sont tangents extérieurement, la Lune étant à droite du Soleil (A).

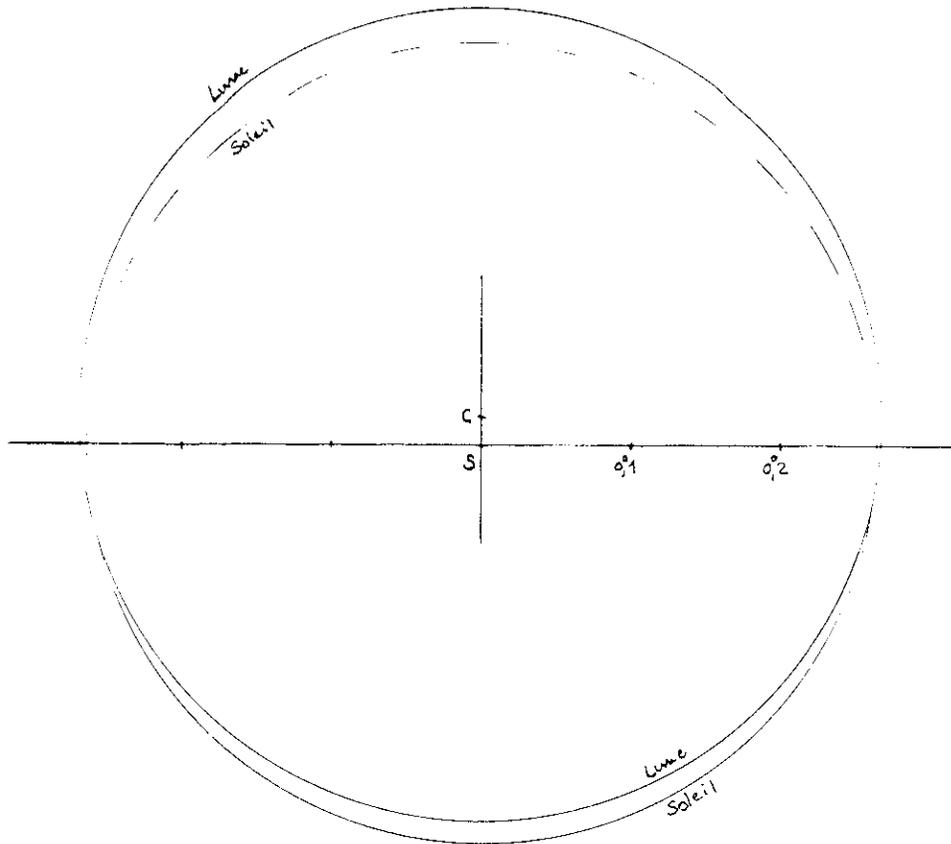
Le 2^e contact a lieu à H -1 min : les cercles sont tangents intérieurement, le diamètre apparent de la Lune étant légèrement supérieur à celui du Soleil (0°534 et 0°526). C'est le début de l'éclipse totale (B), maximale en (C), et qui se termine à H +1 min en (D). Pendant la totalité, la brillante étoile Régulus sera visible à une douzaine de degrés à gauche du Soleil éclipsé.

Le 4^e contact se produit à H +1h20 min (environ). C'est la fin de l'éclipse partielle (E) et la fin de ce spectacle qui aura duré près de 2h40min, dont seulement 2 min d'éclipse totale (BD). Le mot "environ" pour ces instants est utilisé non par manque de précision, mais parce que ces durées varient légèrement avec le lieu d'observation, comme indiqué dans le tableau.

En restant à Paris, donc hors de la bande de totalité, l'éclipse ne sera que partielle et maximale à 10h 20min TE. Le centre de la Lune est décalé de seulement 0,02 degré au-dessus de celui du Soleil, à 51° de hauteur dans le ciel et à -38°7 d'azimut (Est).

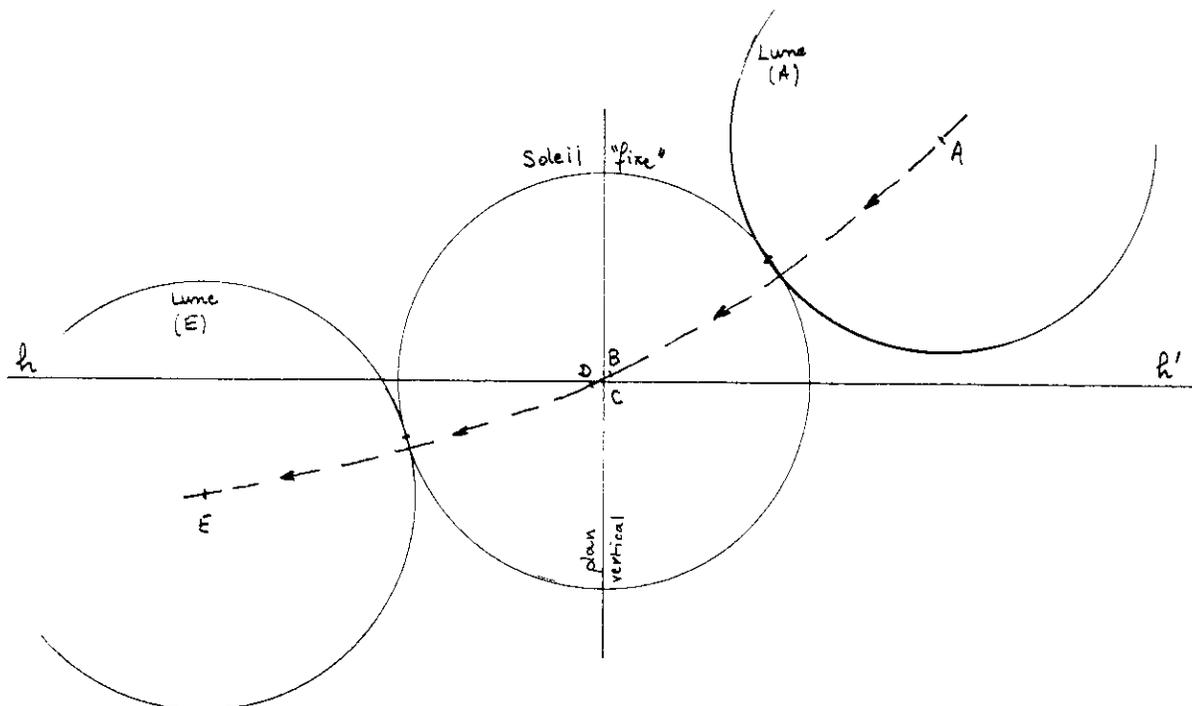
Sur la carte de la bande de totalité, les heures sont indiquées en TE. La forme de l'ombre de la Lune sur le sol est dessinée approximativement, compte tenu de l'azimut et de la hauteur du Soleil.

Pourvu que le ciel soit bien dégagé car la prochaine éclipse totale visible depuis Paris aura lieu le ... 3 septembre 2081 à 7h35.



L'éclipse vue depuis Paris à 10h 20min TE

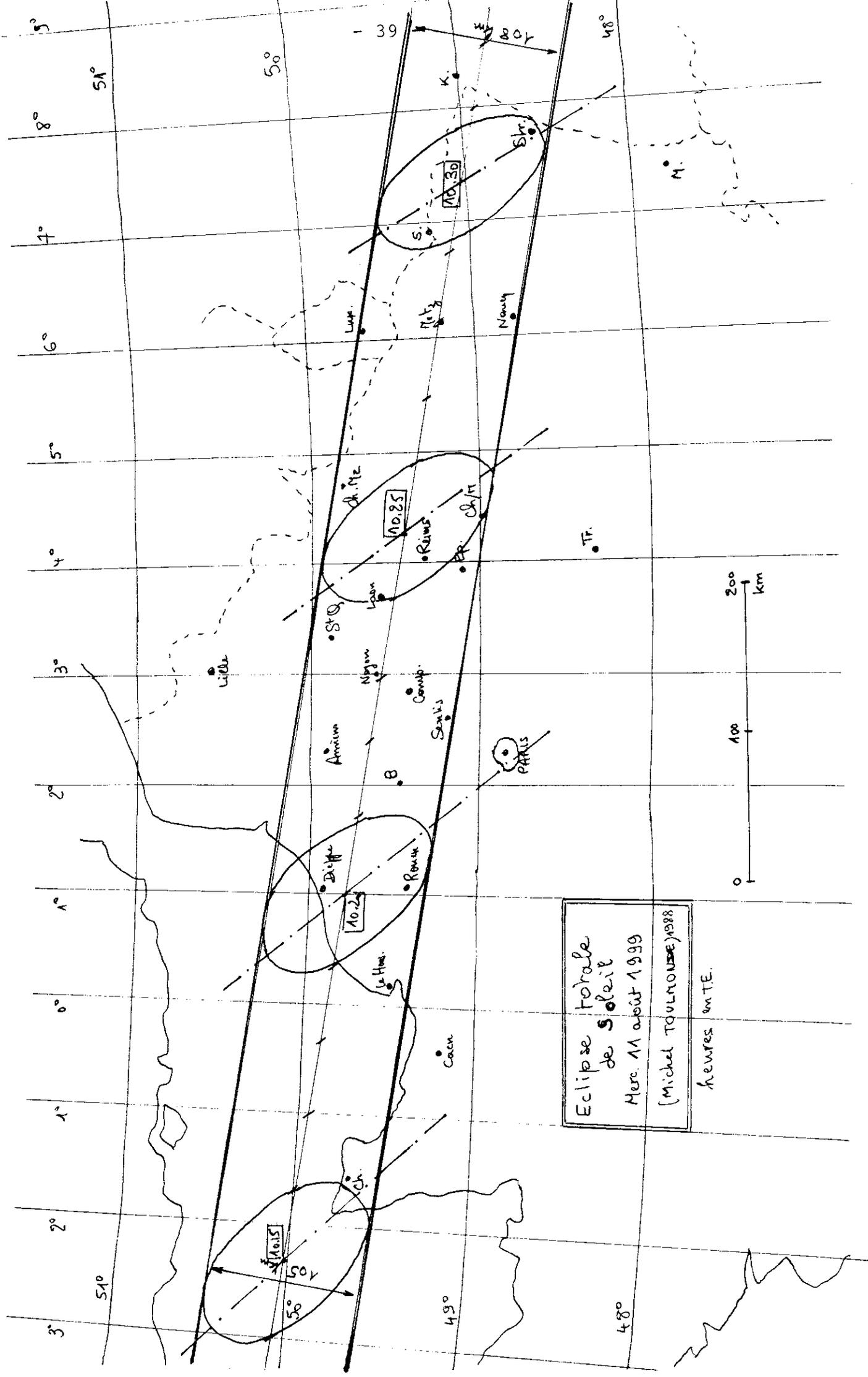
(Dessin en coordonnées horizontales comme le montrera l'observation réelle).



Trajectoire relative du centre de la Lune.

C'est en fait une succession de "photos" prises à des instants différents, mais en gardant la ligne hh' parallèle à elle-même et parallèle à l'horizon (coordonnées horizontales topocentriques).

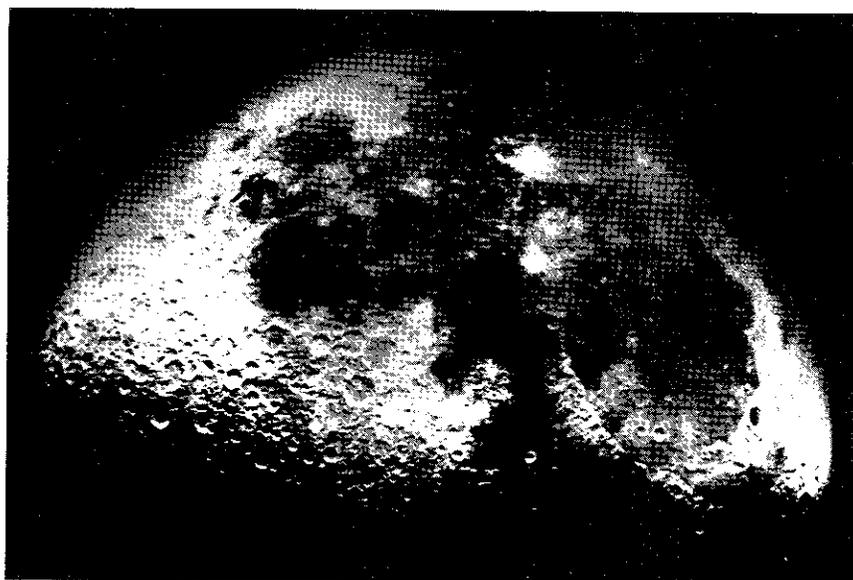
En réalité, la hauteur du Soleil augmente et la ligne ABCDE est quasi rectiligne, inclinée de 5° sur l'écliptique.



Eclipse Totale
 de Soleil
 Merc. 11 août 1999
 (Michel TOULMONDE) 1988

REVERTES INTÉ.

Vient de paraître au CRDP de Paris



NUMERO SPECIAL **ASTRONOMIE**

L'astronomie en tant que telle n'apparaît actuellement dans les programmes que de façon épisodique et parcellaire. Et pourtant...! Quelle curiosité de la part des élèves, quel intérêt vif chez beaucoup d'enseignants, quelle passion dans le grand public, où se multiplient les astronomes amateurs ! Tandis que prospèrent les revues spécialisées et que poussent comme des champignons les planétariums...

C'est que l'astronomie touche à ces questions existentielles que l'Homme - parce qu'il est Homme - se pose sur les origines de la Vie et sur sa place dans l'Univers.

En classe - parce qu'il répond à une demande naturelle de la part de l'enfant - l'enseigne-

ment de l'astronomie peut trouver une place privilégiée : par l'apprentissage concret d'une culture technique de pleine actualité, par une initiation réussie à une démarche scientifique rigoureuse.

Par cet apport si nécessaire à la construction de l'enfant: l'aider à se situer, en tant qu'individu, dans le monde qui l'entoure.

Ce numéro spécial Astronomie rassemble, à l'intention du public éducatif, un ensemble d'informations pratiques et bibliographiques très riche et actualisé. Et il introduit dans l'entreprise de rénovation actuelle une réflexion de fond sur l'enseignement de l'astronomie.

BON DE COMMANDE

à retourner avec votre règlement postal ou bancaire à l'ordre de : M. l'Agent comptable du CRDP de Paris - CCP PARIS 9060-26 S - 37 rue Jacob 75270 Paris cedex 06

Prix unitaire

Nb. d'exemplaires demandés

Total de la commande

Destinataire :

Adresse :

Date :

Signature :

**REVUE
INFORMER
DOCUMENTER
NUMERO SPECIAL
ASTRONOMIE**

68 pages

ill. noir et blanc

CRDP de Paris

37, rue Jacob

75006 Paris

Tél. 42.60.37.01

EN VENTE : 50 F.

LES PUBLICATIONS DU C. L. E. A.

Le CLEA publie, depuis douze ans, son bulletin trimestriel Les Cahiers Clairaut. On trouvera page 4 de la couverture, les conditions d'abonnement et les conditions d'adhésion au CLEA.

Les Cahiers Clairaut et les autres publications du CLEA sont toutes conçues pour l'information des enseignants et pour les aider dans leur enseignement de l'astronomie.

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

de l'Université de Paris XI (Orsay) :

1. L'observation des astres et le repérage dans l'espace et le temps (20F)
2. Le mouvement des astres (25 F)
3. La lumière messagère des astres (25 F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (30 F)
5. Renseignements pratiques et bibliographie pour l'astronomie (25 F)
- 5 bis. Complément au fascicule 5 (25 F)
6. Univers extragalactique et cosmologie (30 F)
7. Une étape de la physique, la Relativité restreinte (60 F)
8. Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie (60 F)
9. Le système solaire (50 F)
10. La Lune (30 F)
11. La Terre et le Soleil (40 F)
12. Simulations en astronomie sur ordinateur (30 F)

TRANSPARENTS ANIMES POUR RETROPROJECTEUR

- T1. Le TranSoLuTe (les phases de la Lune et les éclipses) (50 F)
- T2. Les fuseaux horaires (40 F)
- T3. Les saisons (50 F)

DIAPPOSITIVES

- D1. Série de 20 diapositives+ livret sur "Les phénomènes lumineux" (50F)

COURS D'ASTRONOMIE POLYCOPIES de l'Université de Paris XI (Orsay)

- C1. Astrophysique générale (30 F)
- C2. Mécanisme de rayonnement en astrophysique (30 F)
- C3. Etats dilués de la matière : le milieu interstellaire (30 F)
- C4. Structure interne des étoiles (30 F)
- C5. Relativité et cosmologie (30 F)
- S. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil (30 F)

LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE qui présentent le fruit du travail des participants. Sont encore disponibles ceux de : Digne 1978 (25 F), Grasse 1979 (35 F), Grasse 1983 (58 F), Formiguères 1984 (65 F), Formiguères 1985 (100 F), Formiguères 1986 (100 F).

PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

Catalogue des étoiles les plus brillantes par F.Ochsenbein, A.Acker, E.Legrand J-M.Poncelet et E.Thuet-Fleck (75 F) - Le catalogue existe sur disquettes pour PC (120 F les deux disquettes).

Deux séries de cartes postales : 1°) le système solaire ; 2°) nébuleuses et galaxies (chaque série 23 F)

Commandes à adresser au secrétaire du CLEA, Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD en joignant le chèque correspondant rédigé à l'ordre du CLEA.

LE CLEA et LES CAHIERS CLAIRAUT

Conditions d'adhésion et d'abonnement pour 1990 :

Cotisation simple au CLEA pour 1990	25 F
Abonnement simple aux Cahiers n°49 à 52	90 F
Abonnement aux Cahiers (n°49 à 52) ET cotisation CLEA pour 1990	110 F
Contribution de soutien (par an)	30 F

Possibilité de cotiser ou de s'abonner pour deux ans en doublant les tarifs précédents.

A l'intention des nouveaux abonnés, onze fascicules ont été édités ils réunissent par thèmes des articles publiés dans les Cahiers Clairaut

Tout nouvel abonné reçoit en témoignage de bienvenue le fascicule index noté FI et un fascicule à choisir dans la liste suivante :

FA. L'astronomie à l'école élémentaire	FG. Astronomie et informatique
FB. L'astronomie au collège	FH. Articles de physique
FC. Construction d'une maquette	FJ. Articles d'astrophysique
FD. Construction d'un instrument	FK. Histoire de l'astronomie
FE. Réalisation d'une observation	FL. Interprétation d'un document d'observation
FF. Les potins de la Voie Lactée	

Adresser commandes et souscriptions au secrétaire du CLEA :
Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 SAINT-CLOUD
en joignant à votre envoi le chèque correspondant à l'ordre du CLEA.

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim
Imprimerie HAUGUEL, 92240 Malakoff
Dépot légal : 1^{er} trimestre 1979 ; numéro d'inscription CPPAP : 61660