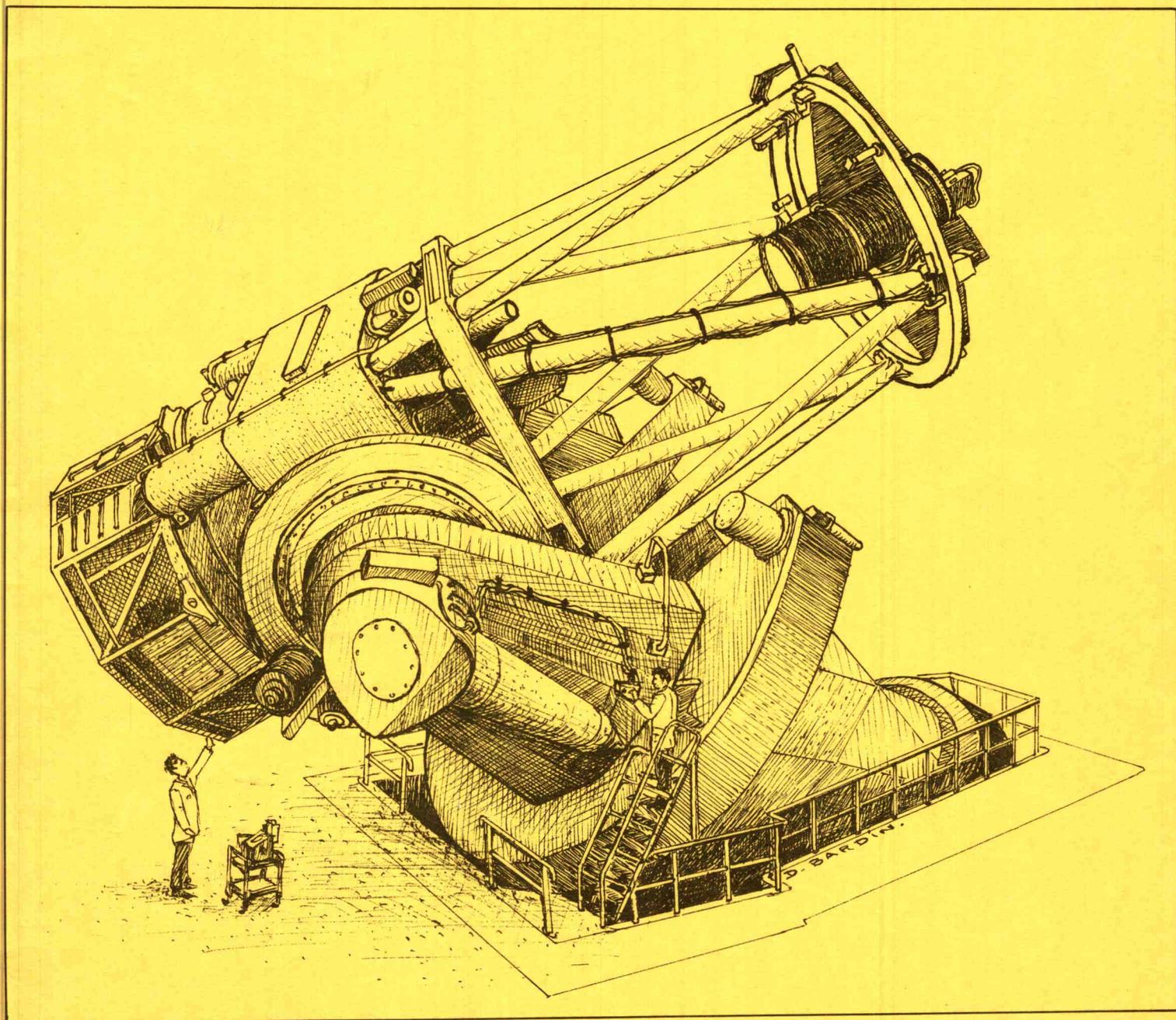


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



n° 44 - hiver 1988-89

ISSN 0758-234 X

Le Comité 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 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 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 ces 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 page 3 de la couverture.

Bureau du CLEA pour 1988

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker
Evry Schatzman

Présidente : Lucienne Gouguenheim

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

Secrétaire-trésorier : Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST-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, Jean Ripert, Daniel Toussaint, Victor Tryoën, Gilbert Walusinski.

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 44 Hiver 1988

	page
Une nouvelle classe de galaxies	3
Le collier de la présidente	13
Une arme secrète	19
La Lune et les satellites	21
Un douze novembre à Orsay	22
Mettez votre planétaire à l'heure	23
Lectures pour la Marquise	24
La chronique du CLEA	27
En suivant la Lune	31
Les Potins de la Voie Lactée	44

EDITORIAL

Chaque année, le numéro d'hiver réserve une bonne place au compte rendu de l'Assemblée Générale du CLEA. Ce numéro ne manque pas à la tradition. Il est même enrichi de la participation à cette Assemblée de Cécilya Iwaniszewska qui, avant de quitter Paris pour regagner Torun, a pris la peine de rédiger ses notes et de les communiquer au secrétaire-trésorier-rédacteur en chef des Cahiers. Merci à elle !

Merci aussi à Jacques Vialle qui a traduit pour nous le texte de Philip Sadler, responsable du projet STAR. Le CLEA envisage une collaboration avec les collègues américains du projet STAR: un mini-colloque est prévu pour le début du mois d'avril 1989, avec la participation de D. Hoff.

Enfin, nous publions dans ce numéro l'article sur l'analemme de la Lune qui nous a été proposé par Irène Tirasposky, en remerciant la rédaction du Bulletin de l'Union des Physiciens d'avoir autorisé la double publication de cet article dans le BUP et dans les Cahiers Clairaut.

L'abondance des matières nous conduit à remettre au prochain numéro la seconde partie de l'article de J.P. Parisot et B. Mazodier "Astronomie et variations Climatiques".

Le numéro d'hiver est aussi le dernier de l'année et voilà revenue la période des réabonnements: aidez-nous à trouver de nouveaux abonnés. Nous avons lancé une campagne d'abonnements. Demandez-nous des exemplaires des fascicules thématiques, offerts aux nouveaux abonnés et des affiches publicitaires et faites-en une bonne diffusion ! Merci !

La Rédaction

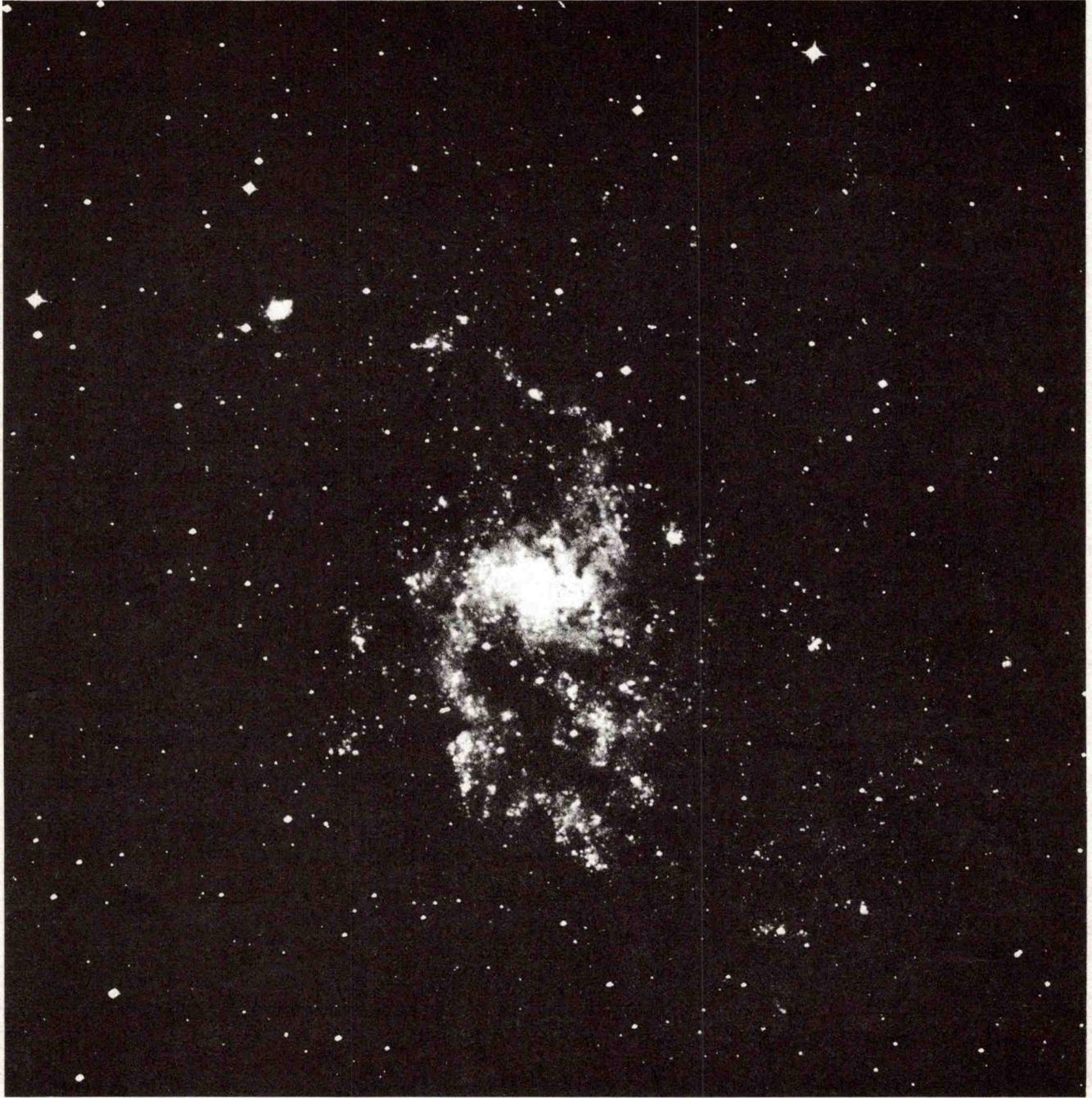


Photo de la belle galaxie spirale du Triangle, M33 prise au télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence. On remarquera les étoiles et les nébuleuses brillantes qui sont réparties le long des bras spiraux de la galaxie.

UNE NOUVELLE CLASSE DE GALAXIES SUPERLUMINEUSES DANS L'INFRAROUGE

ETOILES JEUNES, MILIEU INTERSTELLAIRE ET FORMATION D'ETOILES DANS LES GALAXIES.

La façon dont les galaxies forment les étoiles est l'une des clés du mode de leur évolution. Parce qu'elles ont des durées de vie courtes, les étoiles bleues, très chaudes, sont des étoiles jeunes. Elles sont donc de bons indicateurs de la formation récente d'étoiles. Ces étoiles rayonnent l'essentiel de leur énergie dans l'ultraviolet: on peut montrer, en utilisant la loi de Wien ($\lambda_m T = 2,9 \times 10^{-3}$) qu'une étoile de température superficielle égale à 20 000 K rayonne le maximum de son énergie au voisinage de la longueur d'onde $\lambda_m = 0,15 \mu\text{m}$, alors que le Soleil, à 6 000 K rayonne le maximum de son énergie dans le visible, autour de $\lambda_m = 0,5 \mu\text{m}$.

L'ensemble des observations effectuées jusqu'ici concernant les étoiles bleues et les régions de gaz ionisé qu'elles provoquent montrent que ces étoiles sont fréquentes dans les galaxies spirales tardives et les irrégulières mais pratiquement absentes des spirales peu avancées et des elliptiques. En outre, dans les galaxies spirales, les étoiles jeunes se distribuent essentiellement le long des bras.

Dans cet exemple, le milieu interstellaire est un indicateur de formation stellaire parce qu'on l'observe excité par le rayonnement UV des étoiles jeunes: une nébuleuse brillante rayonne dans le visible dans les raies de la série de Balmer de l'hydrogène par un mécanisme d'ionisation par le rayonnement UV de longueur d'onde plus courte que $0,0912 \mu\text{m}$ suivi d'une recombinaison sur un état excité et d'une cascade radiative (Figure 1).

De façon plus générale, le milieu interstellaire est lié à la formation des étoiles puisqu'il en est le progéniteur. Il se présente sous différentes conditions physiques, incluant notamment:

- des nuages de gaz diffus, de densité de 10 à 50 atomes par cm^3 , relativement froids (40 à 100K), composés pour l'essentiel d'hydrogène sous forme atomique; on l'observe grâce à la raie émise par l'hydrogène à la longueur d'onde de 21 cm.

- des régions plus denses (10^2 à 10^7 atomes par cm^3) et moléculaires: la concentration des petites particules solides, appelées "poussières", dont les dimensions

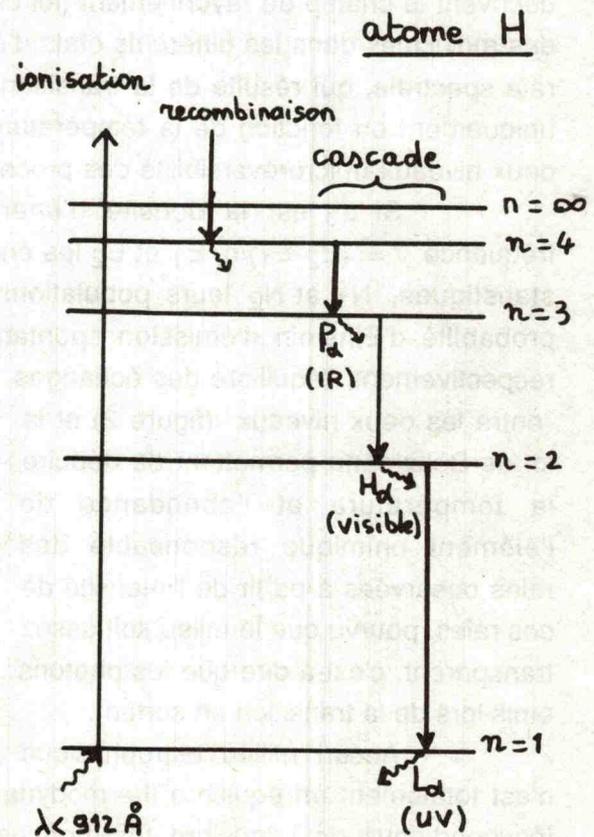


Fig. 1

typiques sont de l'ordre de 0,1 μm , y assure la protection des molécules contre la dissociation par la lumière. On observe ce milieu par les différentes raies moléculaires accessibles à la radioastronomie, essentiellement, dans le cas des galaxies extérieures, par les raies de CO à 2,6 et 1,3 mm de longueur d'onde.

- les poussières, si elles sont chauffées par un rayonnement ultraviolet de longueur d'onde plus courte que leurs dimensions, rayonnent dans l'infrarouge lointain.

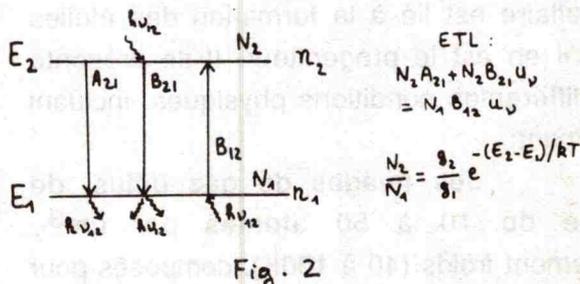
L'observation du spectre, et en particulier du spectre de raies, émis par ces différentes composantes, nous renseigne donc sur l'état physique et l'abondance du milieu interstellaire et, en conséquence, sur son aptitude à former des étoiles. La composante la plus dense est probablement la plus proche de la formation stellaire, puisque les étoiles se forment à partir d'un gaz assez dense pour être autogravitant.

LE MILIEU INTERSTELLAIRE EST GÉNÉRALEMENT EN ÉCART À L'ÉQUILIBRE THERMODYNAMIQUE LOCAL.

L'interprétation de l'observations des raies interstellaires est délicate, parce que ce milieu est généralement en écart à l'équilibre thermodynamique local (ETL).

Dans le cas où le milieu est en équilibre thermique, des lois simples décrivent le champ de rayonnement (loi de Planck) et la répartition des atomes ou des molécules dans les différents états d'énergie (loi de Boltzmann). En outre, une raie spectrale, qui résulte de la transition entre deux niveaux d'énergie, se décrit uniquement en fonction de la température et des transitions radiatives entre ces deux niveaux (microréversibilité des processus).

Si u_ν est la densité d'énergie du champ de rayonnement à la fréquence $\nu = (E_2 - E_1)/h$, E_1 et E_2 les énergies des niveaux, g_1 et g_2 leurs poids statistiques, N_1 et N_2 leurs populations, A_{21} , B_{21} et B_{12} les coefficients de probabilité d'Einstein d'émission spontanée, d'émission induite et d'absorption, respectivement, l'équilibre des échanges entre les deux niveaux (figure 2) et la loi de Boltzmann permettent de déduire la température et l'abondance de l'élément chimique responsable des raies observées à partir de l'intensité de ces raies, pourvu que le milieu soit assez transparent, c'est-à-dire que les photons émis lors de la transition en sortent.



Aucun milieu astrophysique n'est totalement en équilibre thermodynamique. Mais il arrive assez souvent que les conditions de l'équilibre thermodynamique soient réalisées localement: on parle alors d'équilibre thermodynamique local (ETL). Ceci peut se faire lorsque les variations de température dans le milieu sont suffisamment progressives de telle sorte qu'on puisse le décomposer en une succession de cellules de température constante à l'intérieur desquelles s'est instauré un état d'équilibre. Ceci se produit si les libres parcours moyens des particules (matière et photons) sont

petits devant la dimension de la cellule (fig. 3). On conçoit donc que l'E.T.L. est d'autant mieux réalisé que les processus collisionnels sont importants.

Dans le cas contraire, le milieu est en écart à l'E.T.L. et les lois de l'équilibre thermodynamique ne sont plus valables, même localement. Pour rendre compte de la formation d'une raie spectrale, on ne peut plus se contenter de considérer les seules

transitions radiatives entre les deux niveaux d'énergie impliqués dans la formation de la raie. La seule loi applicable est la stationnarité de la population d'un niveau d'énergie: l'ensemble des transitions qui le peuplent, incluant donc tous les processus, radiatifs ou collisionnels, est égal à celles qui le dépeuplent. Dans ce cas, l'intensité observée d'une raie ne dépend pas seulement de l'abondance de l'élément concerné et de la température mais du détail des divers processus physiques.

C'est le cas des raies d'émission de l'hydrogène de la série de Balmer dans le visible, observées dans les nébuleuses brillantes et dont il a été question plus haut. Elles résultent d'un processus d'ionisation de l'hydrogène par le rayonnement UV des étoiles chaudes suivi de la recombinaison sur un état excité et des cascades successives assurant le retour à l'état fondamental. Les seules raies visibles impliquées lors de ces cascades sont celles de la série de Balmer. La plus intense est la raie H_{α} située dans le rouge et qui est à l'origine de la belle couleur rouge de ces nébuleuses. La grande intensité de la raie H_{α} n'est pas due à la température élevée qui assurerait un peuplement plus important du niveau $n=3$ de l'atome d'hydrogène, mais au grand nombre de photons ionisants de longueur d'onde plus courte que $0,0912 \mu\text{m}$ émis par l'étoile excitatrice.

LE SATELLITE IRAS ET LA DECOUVERTE DES GALAXIES "STARBURST".

Chauffées par le rayonnement UV, les particules solides du milieu interstellaire sont susceptibles de rayonner dans l'infrarouge lointain, inobservable depuis le sol.

Une équipe de chercheurs américains, anglais et néerlandais a lancé en janvier 1984 un satellite (InfraRed Astronomical Satellite, ou IRAS) qui a

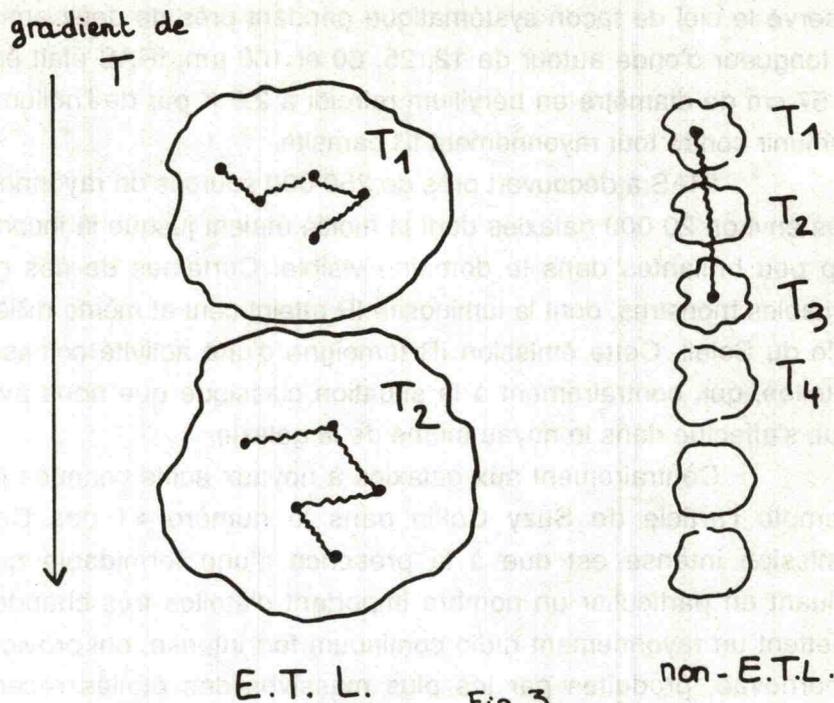


Fig. 3

observé le ciel de façon systématique pendant près de deux ans, dans 4 bandes de longueur d'onde autour de 12, 25, 60 et 100 μm . IRAS était équipé d'un miroir de 57 cm de diamètre en béryllium refroidi à 2,5 K par de l'hélium liquide, pour se prémunir contre tout rayonnement IR parasite.

IRAS a découvert près de 250 000 sources de rayonnement IR et parmi elles environ 20 000 galaxies dont la moitié étaient jusque là inconnues, parce que trop peu brillantes dans le domaine visible. Certaines de ces galaxies sont de véritables monstres, dont la luminosité IR atteint cent et même mille milliards de fois celle du Soleil. Cette émission IR témoigne d'une activité colossale de formation d'étoiles, qui, contrairement à la situation classique que nous avons décrite plus haut, s'effectue dans le noyau même de la galaxie.

Contrairement aux galaxies à noyaux actifs connues jusqu'ici (voir par exemple l'article de Suzy Collin dans le numéro 41 des Cahiers Clairaut), l'émission intense est due à la présence d'une formidable quantité d'étoiles, incluant en particulier un nombre important d'étoiles très chaudes. Ces galaxies émettent un rayonnement radio continuum fort intense, qui provient des restes de supernovae, produites par les plus massives des étoiles récemment formées, celles qui ont la durée de vie la plus courte. Les étoiles un peu moins massives, elles aussi très chaudes, sont encore en activité et sont responsables du chauffage des poussières et de leur rayonnement infrarouge.

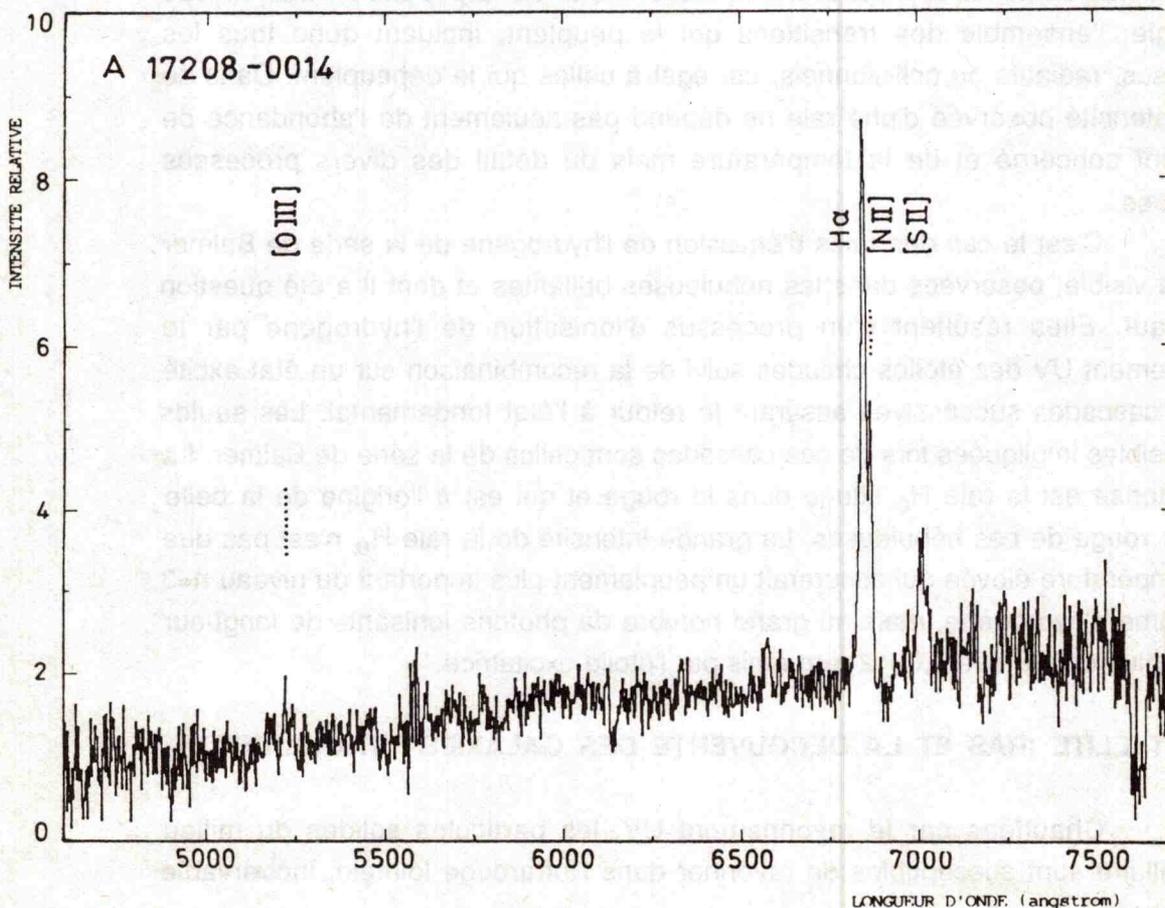


Fig.4: le spectre de la galaxie a été obtenu avec le télescope de 3,6 m de l'ESO (European Southern Observatory), Il présente des raies d'émission très nettes du côté du rouge. Ces raies sont notées H_{α} pour la première raie de la série de Balmer, [NII] pour la raie interdite de l'azote une fois ionisé, [SII] pour la raie interdite du soufre une fois ionisé; du côté du bleu, seule est visible la raie interdite de l'oxygène deux fois ionisé([OII]) et la raie H_{β} n'est pas décelée, ce qui traduit une importante extinction, due aux poussières.

Les anglosaxons ont nommé ces galaxies "starbursts", ce qui signifie "galaxies subissant une flambée de formation stellaire". Elles sont généralement riches en poussières qui masquent leur structure globale et les rendent difficiles à observer dans le visible. Leur spectre de raies dans le domaine visible présente des raies d'émission caractéristiques des nébuleuses excitées, mais témoigne aussi d'une très forte extinction due à la présence des poussières. Sur la figure 4 on voit la raie H_{α} très intense; par contre, H_{β} dans le bleu est invisible.

Jusqu'à l'ère IRAS, le prototype des galaxies "starbursts" était M82, la galaxie compagne de la belle spirale M81 qui rayonne 4 fois plus d'énergie dans l'IR que dans le bleu, alors que ce rapport est généralement inférieur à l'unité pour les galaxies classiques. IRAS a découvert des galaxies où il dépasse la centaine!

On ne sait pas encore bien quel mécanisme est à l'origine de cette extraordinaire flambée de formation stellaire. Peut-être est-ce la fusion de 2 galaxies comme le suggère la présence fréquente d'un noyau double.

DE GIGANTESQUES MASERS OH

Le radical OH est la première molécule à avoir été observée dans le milieu interstellaire, en 1963. Il peut émettre 4 raies au voisinage de la longueur d'onde 18 cm qui correspondent à la structure du niveau électronique, vibrationnel et rotationnel fondamental (figure 5).

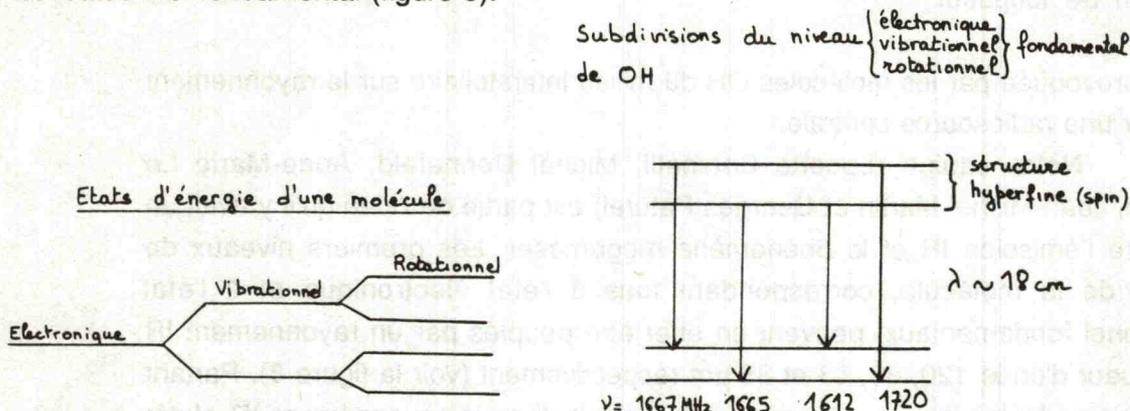


Fig. 5

Cette raie est parfois amplifiée par un effet MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), effet typiquement associé à une condition d'écart à l'ETL (figure 6). Le maser résulte d'une surpopulation du niveau supérieur de la transition, assurée par des transitions venant d'un niveau supérieur lui-même peuplé par collisions ou rayonnement. On donne à ce dernier mécanisme le nom de "pompe" du maser.

Une fois peuplé, le niveau supérieur se désexcite à la fois par transitions spontanées et par transitions induites par la présence de photons identiques à celui émis lors de la transition: il y a ainsi amplification du rayonnement. Dans les masers galactiques, le rayonnement amplifié a souvent pour origine les photons créés par émission spontanée qui, à leur tour, stimulent l'émission d'autres molécules.

Le phénomène "Megamaser", découvert dans des galaxies lointaines, possède une ampleur très supérieure à celle des masers galactiques, d'où leur nom qui nous rappelle qu'ils sont un million de fois plus intenses que les masers galactiques. Le premier megamaser a été découvert accidentellement dans la galaxie Arp 220 (figure 7) par des radioastronomes d'Arecibo, alors qu'ils cherchaient à observer une raie en absorption à 18 cm de longueur

Principe du MASER

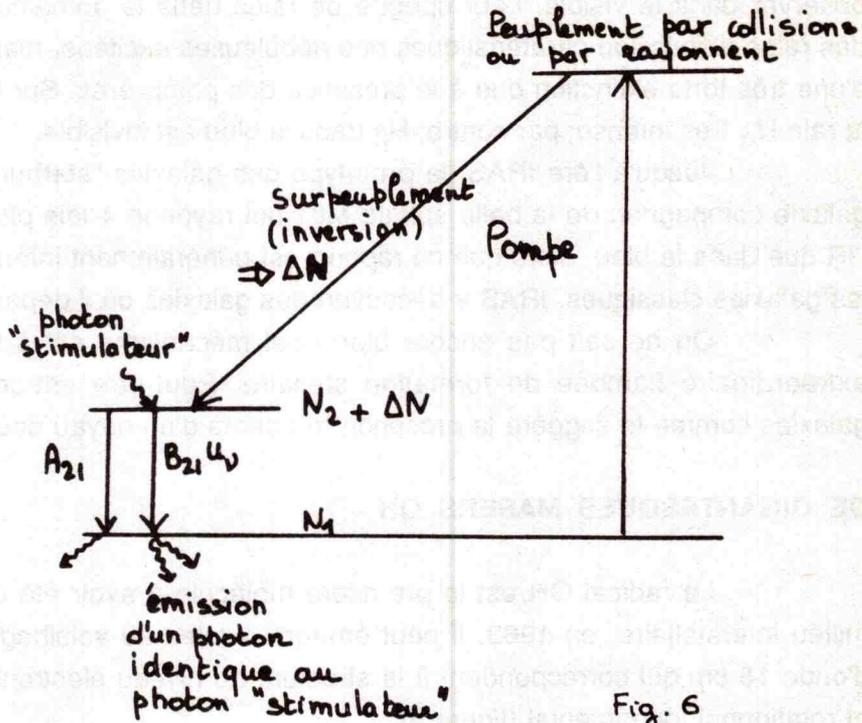


Fig. 6

d'onde provoquée par les molécules OH du milieu interstellaire sur le rayonnement émis par une radiosource centrale.

Notre équipe (Lucette Bottinelli, Michel Dennefeld, Anne-Marie Le Squeren, Jean-Michel Martin et Georges Paturel) est partie de l'idée qu'il y avait un lien entre l'émission IR et le phénomène megamaser. Les premiers niveaux de rotation de la molécule, correspondant tous à l'état électronique et à l'état vibrationnel fondamentaux, peuvent en effet être peuplés par un rayonnement IR de longueur d'onde 120, 80, 53 et 35 μm respectivement (voir la figure 8). Partant de l'idée que le mécanisme de pompage résidait dans le rayonnement IR plutôt que dans les collisions, nous avons recherché l'émission OH dans des galaxies de très grande luminosité IR.

AUTOPSIE D'UN MEGAMASER.

L'étude détaillée de la galaxie IRAS17208-0014, découverte par IRAS et que nous avons identifiée à une galaxie est riche d'enseignements.

Tout d'abord son spectre (figure 4) montre une raie H_{α} très intense alors que H_{β} , dans le bleu, n'est pas visible. Ce rapport d'intensité très inhabituel provient de l'extinction considérable que subit la lumière dans ces galaxies très empoussiérées. Le décalage spectral de la raie H_{α} témoigne d'une grande vitesse d'éloignement, égale à 12 700 km s^{-1} . Le spectre radio obtenu à Nançay montre 2 raies d'émission à 1667 et 1665 MHz, très intenses (figure 10) malgré la grande distance de la galaxie (environ 600 millions d'années de lumière). Le spectre à 21 cm obtenu à Nançay (figure 9) est tout aussi étonnant, puisque la raie

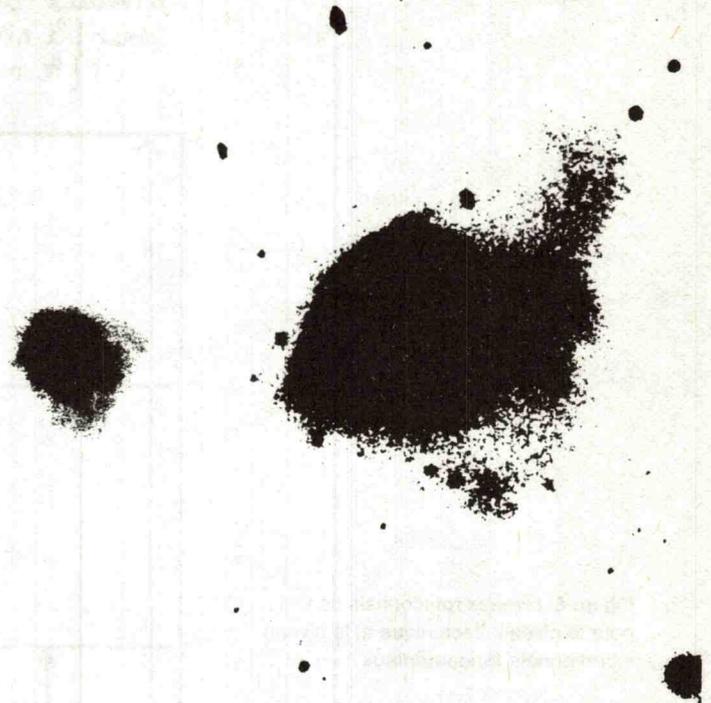
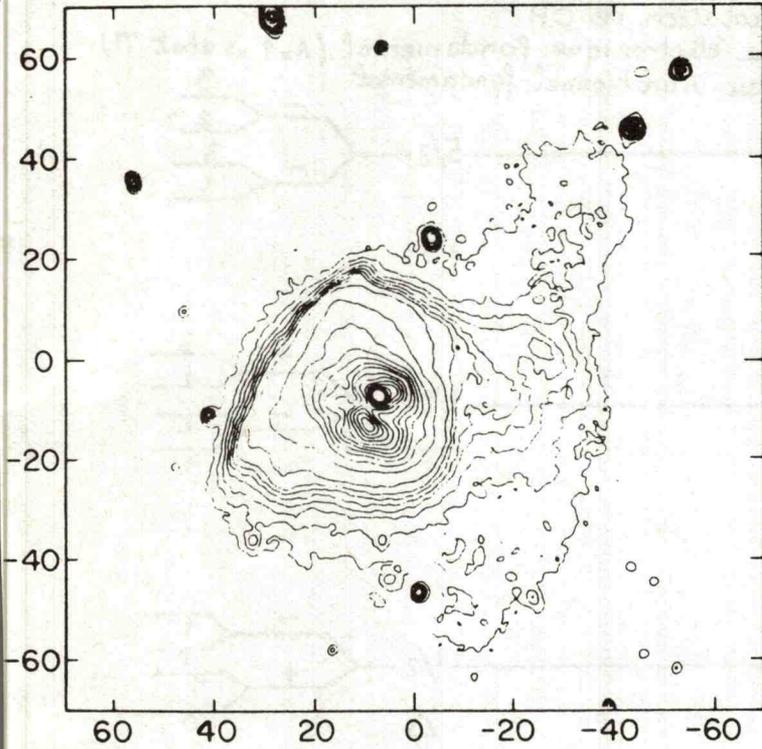


Figure 7: Photographie dans le rouge de la galaxie Arp 220, obtenue avec une camera CCD au télescope de 5 mètres du Mont Palomar, présentée à gauche sous la forme d'une carte avec des contours d'égale intensité lumineuse (le pas correspond à un facteur 2) et des axes gradués en seconde d'arc sur le ciel et d'autre part, au centre et à droite, sous la forme d'une image en négatif traitée de manière à faire apparaître sur le cliché du centre le détail de la structure du noyau et sur celui de droite les extensions périphériques lointaines. Arp 220 est un système de deux galaxies en fusion; le noyau double est traversé par une bande de poussières et deux extensions peu lumineuses en forme de boucle s'échappent au-delà du bord ouest du noyau sur environ 100 000 années de lumière; ces extensions de gaz sont le résultat classique des effets de marée dus à l'interaction gravitationnelle très serrée de deux galaxies en disque. Arp 220, située à une distance de 230 millions d'années de lumière, a été le premier megamaser découvert par hasard en 1982. Les données du satellite IRAS ont montré par la suite qu'il s'agissait d'une galaxie très lumineuse émettant près de 90% de sa lumière dans l'IR.

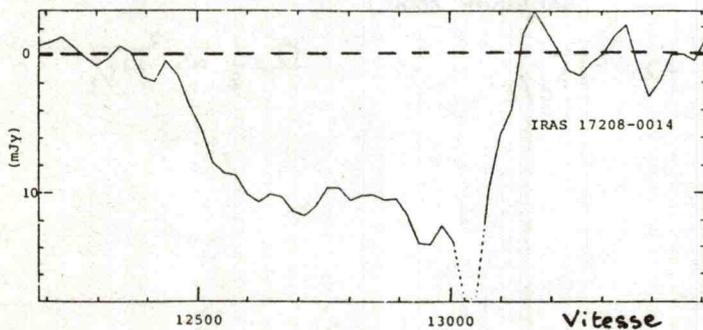


Figure 9: profil de la raie 21 cm observé en absorption devant la radiosource centrale. La raie est considérablement élargie alors que le mouvement d'ensemble du gaz dans le disque, en face de cette radiosource est presque entièrement transverse. Il y a donc des mouvements de grande ampleur à l'intérieur du noyau même de la galaxie.

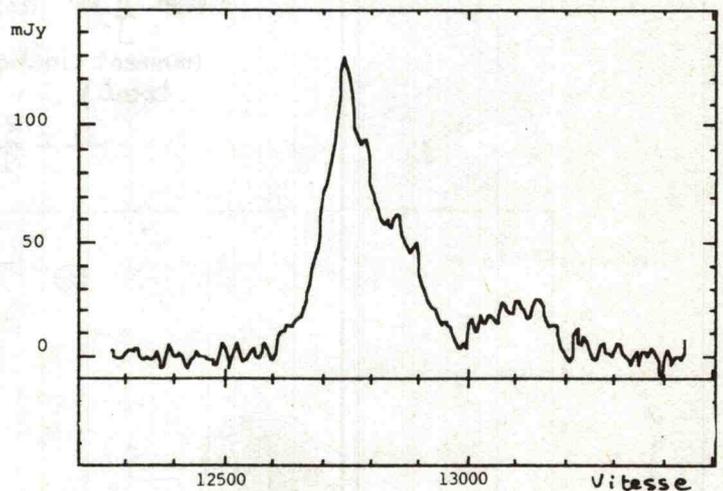


Figure 10: profil des raies à 1667 MHz (à gauche) et à 1665 MHz (à droite) de la molécule OH dans la même galaxie IRAS1720-0014.

Niveaux de rotation de OH
 pour { le niveau électronique fondamental ($\Lambda=1 \Rightarrow$ état Π)
 le niveau vibrationnel fondamental

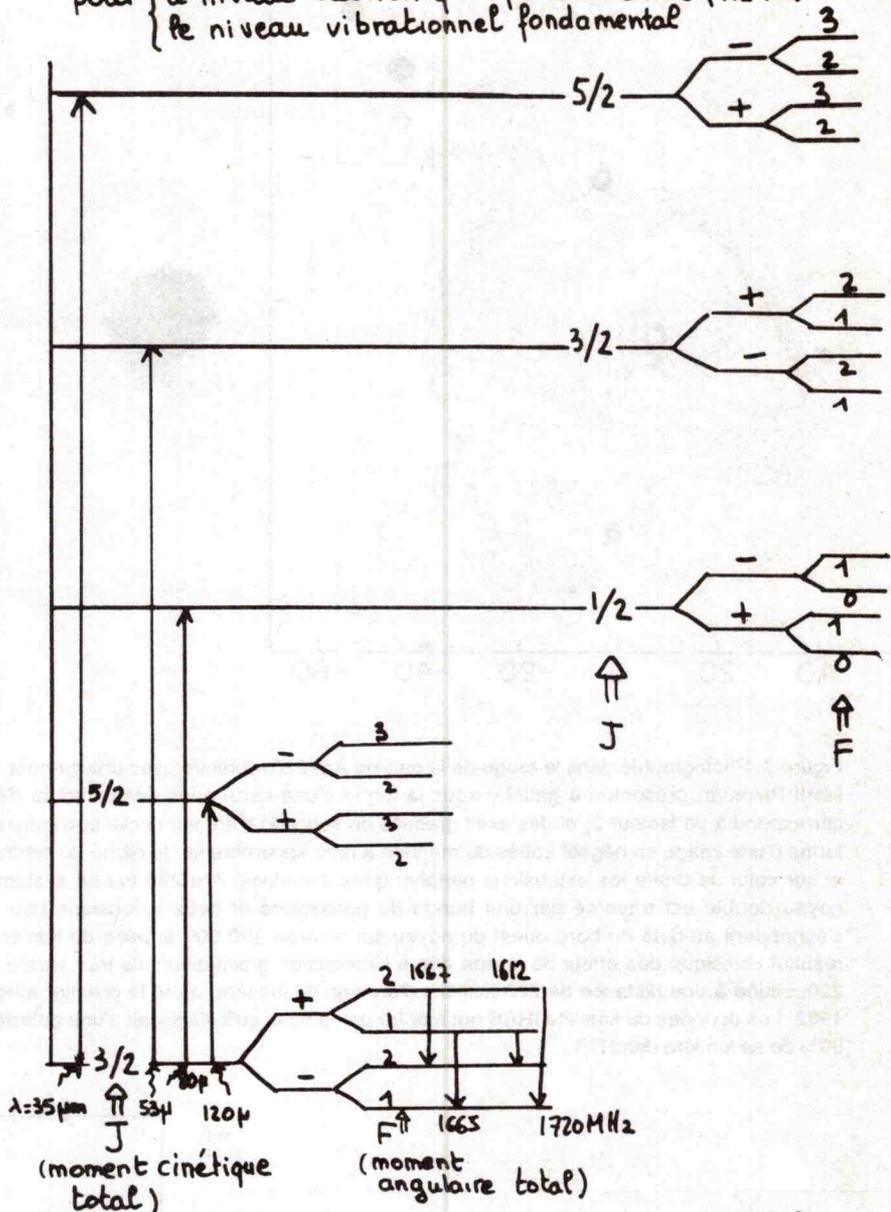


Figure 8: niveaux rotationnels de OH pour le niveau électronique et le niveau vibrationnels fondamentaux

$$\Omega = \frac{3}{2} \Rightarrow 2\Pi_{3/2}$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \Rightarrow 2\Pi_{1/2}$$

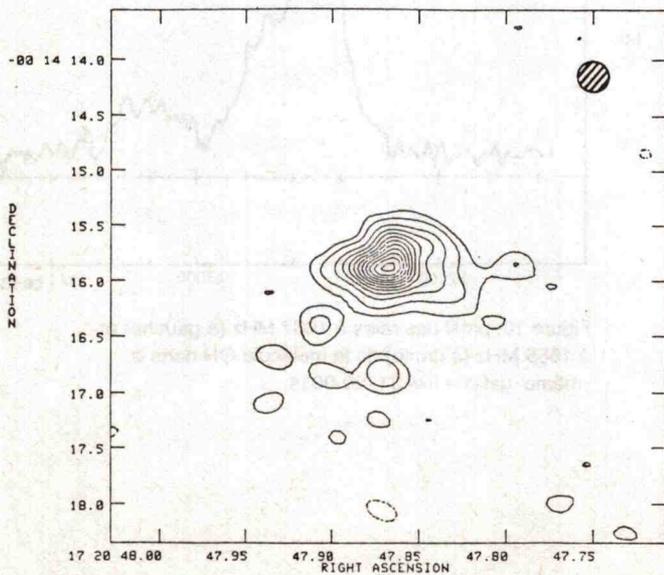


Figure 11: cartographie de la radiosource centrale de IRAS17208-0014 avec une résolution spatiale de $0''3$ (MERLIN)

est considérablement élargie, alors que la faible dimension (environ 600 années de lumière) de la radiosource centrale, mesurée au moyen d'un interféromètre de très bon pouvoir séparateur, le Very Large Array (VLA) aux Etats-Unis et le réseau MERLIN en Angleterre (figure 11) laisserait présager un très faible élargissement par effet Doppler-Fizeau, les vitesses d'ensemble du gaz HI devant la radiosource étant essentiellement transverses (figure 9). Le gaz du noyau est donc animé de mouvements extrêmement violents.

Nos observations confirment qu'il y a superposition de la radiosource et de la région qui émet les raies à 18 cm. Le maser est donc particulièrement puissant parce qu'il amplifie le rayonnement continu de la radiosource.

LE POMPAGE DU MASER EST-IL BIEN DU AU RAYONNEMENT IR ?

Les plus grands radiotélescopes (Arecibo, Jodrell Bank, Green Bank, Nançay et Parkes) ont entrepris de rechercher de telles sources. Plusieurs centaines ont été observées, parmi lesquelles 26 megamasers seulement ont été découverts, dont 18 à Nançay. Il s'agit donc d'un phénomène extrêmement rare. Comme les objets rares sont peu nombreux dans un volume d'espace trop petit, il faut explorer un très grand volume, donc atteindre de très grandes distances, pour en trouver plusieurs. La figure 12 montre la raie de OH à 1667 MHz observée dans une galaxie dont la distance est un record: son décalage spectral est si grand (50 000 km s⁻¹) que la raie 18 cm est observée à 21 cm de longueur d'onde !

Un résultat intéressant se déduit de la figure 13 où la puissance rayonnée dans la raie 1667 MHz, L_{OH} , est portée en fonction de la puissance rayonnée en IR, L_{IR} . Dans un milieu assez transparent pour que tous les photons émis à 18 cm de longueur d'onde en sortent, L_{OH} est proportionnel au nombre de photons 18 cm émis. Or, ce nombre de photons est proportionnel d'une part au nombre de photons stimulateurs, c'est-à-dire à la puissance rayonnée dans le continuum à la longueur d'onde de 18 cm et

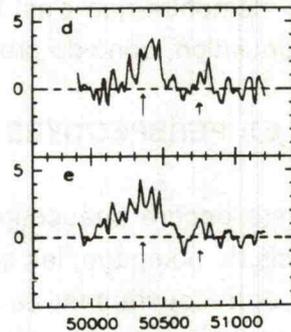


Figure 12: deux profils de la raie de OH dans une galaxie lointaine

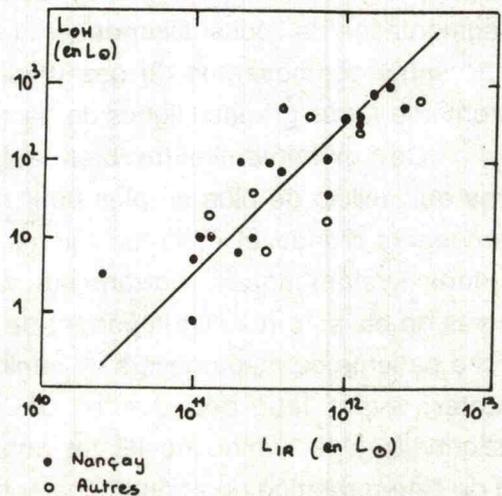


Figure 13: Relation montrant que L_{OH} est proportionnel à L_{IR}^2

d'autre part à la population de molécules inversées (surpopulation Δn du niveau supérieur). Les radioastronomes d'Effelsberg ont montré que la puissance rayonnée dans le continuum radio est très étroitement proportionnelle à la puissance rayonnée en infrarouge. Ce résultat s'interprète aisément, parce que ces deux rayonnements ont la même origine, à savoir les étoiles jeunes et massives: les plus massives, dont la durée de vie est la plus courte ont déjà explosé en supernovae dont les restes sont responsables du rayonnement radio continuum. Les autres rayonnent l'UV qui chauffe les poussières et les conduit à rayonner en infrarouge.

Le résultat de la figure 13 montre donc que l'inversion de population Δn est elle aussi proportionnelle à la luminosité IR:

$$\begin{aligned} L_{OH} &\propto L_{\nu} \times \Delta n \\ &= L_{IR} \times L_{IR} = L_{IR}^2 \end{aligned}$$

Ceci démontre que c'est bien le rayonnement IR qui est à l'origine de l'inversion de population, donc du processus de pompage.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

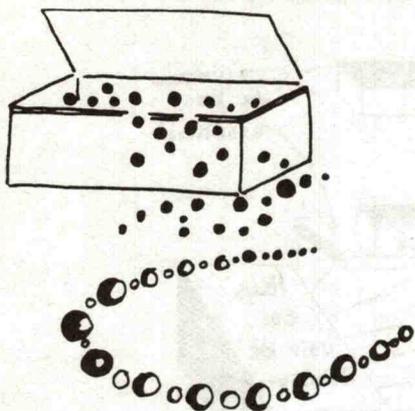
Il reste encore beaucoup de choses à comprendre. Tout d'abord, le mécanisme précis du pompage; les travaux en cours suggèrent qu'il s'explique par un phénomène de recouvrement de raies dû à un champ de vitesses important. Ces travaux sont délicats d'une part parce que la condition de non-ETL oblige à traiter simultanément un grand nombre de niveaux d'énergie de la molécule (les quelques niveaux de rotation indiqués sur la figure 8 donnent une idée de la complexité du problème) et d'autre part parce que le milieu n'est pas transparent pour les raies IR: on ne peut donc pas relier simplement les intensités des raies observées au nombre de photons IR émis. Les observations IR en projet (notamment le satellite ISO) permettront certainement de faire avancer nos idées. Un autre problème fort important concerne la rareté du phénomène, même parmi la population des galaxies de très grande luminosité IR. Les travaux en cours portent sur l'augmentation de l'échantillon et sur la détermination de la localisation précise des différentes composantes du gaz (hydrogène atomique et moléculaire), par interférométrie à très grandes lignes de bases.

Cet exemple illustre bien aussi les méthodes de l'astrophysique moderne qui utilise de plus en plus pour résoudre les problèmes des approches multi-longueurs d'onde et multi-techniques. On peut souligner aussi l'importance des études systématiques, portant sur des échantillons bien sélectionnés et dépourvus de biais: le résultat important de la figure 13 a été obtenu ici grâce à la recherche patiente de megamasers de luminosité IR plus faible, donc plus difficiles à détecter; avant leur découverte, on pensait que la luminosité OH était proportionnelle à la luminosité IR (et non à son carré); les conséquences, au niveau de l'interprétation du phénomène sont de taille!

Lucienne Gouguenheim

(texte de la conférence présentée à l'A.G. du CLEA du 12 -11-1988)

LE COLLIER DE LA PRESIDENTE



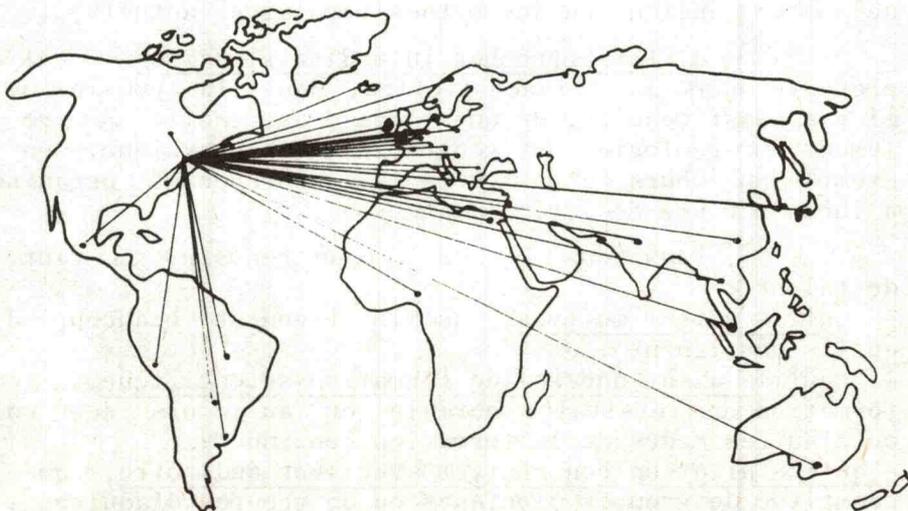
"L'ASTRONOMIE, c'est l'étoffe des rêves et des fascinations de la jeunesse. Ceci est vrai non seulement pour les pays en voie de développement mais aussi pour les autres, comme les Etats-Unis. Nos jeunes s'intéressent à l'astronomie et à l'espace aussi bien que leurs collègues ailleurs. Et quand, dans vos pays développés vous aurez déjà atteint vos rêves, nous espérons n'être pas très loin après vous..."

Mazlan Othman (Malaisie)

(d'après John Percy "Le Télescope voyageur")

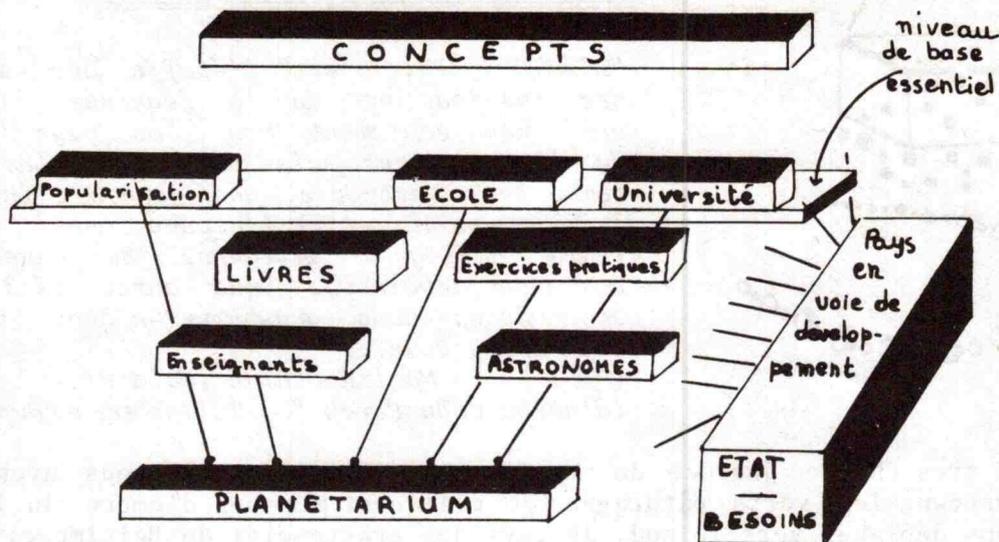
Par une très chaude journée de la fin de juillet, quand nous avons quitté Williamstown, les verts pâturages et collines pleines d'ombre du Berkshire pour nous déplacer vers le sud, le pays des gratte-ciel de Baltimore, Lucienne Gouguenheim m'a demandé de venir à l'Assemblée Générale du CLEA pour parler du colloque qui venait de se terminer. Alors, pendant que notre groupe international d'une quarantaine d'astronomes roulait tranquillement en bus, je me suis mise à penser comment présenter aux membres du CLEA les divers sujets du colloque, les bonnes idées que je voudrais retenir, les souvenirs que je garde en mémoire comme des pierres précieuses dans une cassette. Eh bien, je vais essayer de puiser dans cette cassette, de chercher à sélectionner ces pierres, ces petites perles, pour en composer un collier de perles. Ce sera donc le collier de Madame la Présidente.

Comme vous le savez tous, l'UAI organise chaque année des réunions scientifiques, symposiums ou colloques. L'année dernière, il y avait à Paris le colloque N°98 sur la contribution des amateurs à l'astronomie. Cette année le colloque N°105 sur l'enseignement de l'astronomie a été organisé du 26 au 30 juillet à Williamstown, dans les bâtiments de Williams College, aux Etats-Unis. Le Président du Comité Scientifique était John Percy de Toronto (Canada), celui du Comité local Jay Pasachoff de Williams College. Les 162 participants étaient venus de 31 pays, de six continents, d'Islande à l'Australie, du Pérou à la Malaisie et la Thaïlande, de l'extrême nord de la Norvège au Nigéria. Les plus nombreux étaient les représentants des Etats-Unis (88 personnes), de la Grande-Bretagne (10), du Canada (9) et puis des Indes, de France, du Mexique, d'Allemagne Fédérale, d'Italie. Il y avait des conférences de dix à trente minutes, il y avait aussi une quantité de présentations écrites, une présentation d'affiches, de video, etc.



Les thèmes du colloque

On peut les présenter dans leur ensemble par le schéma suivant :



On a étudié les situations actuelles et les besoins, selon les pays, y compris les pays en voie de développement.

En ayant toujours présent à l'esprit que si nous nous adressons aux nouvelles générations pour leur donner les bases de l'astronomie, nous pouvons, certes présenter des objets et des visions spectaculaires mais nous devons surtout contruire les bases scientifiques de la connaissance.

Des conceptions diverses

Il y a maintes façons différentes et toutes instructives d'aborder l'enseignement de l'astronomie.

1. Des approches par les sciences naturelles : ce seront, par exemple les "classes vertes" en Italie, l'étude du système solaire en Israël.

2. Des approches historiques : Les idées les plus simples sont ainsi introduites naturellement. L'aspect historique retient mieux l'intérêt des étudiants non scientifiques. La perspective historique montre bien les changements et les permanences dans l'évolution de la science. MAIS, précisons bien que cette approche historique insiste moins sur les dates (quand, qui a découvert ...) que sur les faits, sur les procédés de création et de découverte, sur le rôle de la pensée créatrice, sur le rôle des savants de génie qui ont formulé des idées neuves...

3. Des approches culturelles : recherches d'archéoastronomie, étude des représentations astronomiques dans les arts (peinture, architecture), étude des mythes anciens ou des mythes populaires actuels, ...

4. Des approches interdisciplinaires : l'astronomie est présente dans la science-fiction, dans la poésie ou la musique ; il y a aussi beaucoup de questions d'astronomie qui se posent naturellement en géologie, en géographie, en physique, en chimie ... (par exemple au cours d'un cycle de conférences organisé chaque année à Torun par une Société d'amateurs).

Dans tous les cas, pour réussir, il faut des enseignants de talent :

- qu'ils soient motivés, qu'ils prennent beaucoup d'intérêt à ce qu'ils enseignent ;
- qu'ils aient une solide formation scientifique, acquise par la formation universitaire normale ou au cours des universités d'été ou d'autres modes de la formation continue ;
- qu'ils aient un bon contact avec leur auditoire, que celui-ci soit constitué de groupes d'enfants ou de groupes d'adultes ;
- qu'ils prennent plaisir à enseigner.

Des écoles et des enseignants

L'énumération de ces exemples montre la grande variété des formules adoptées.

1. Le projet STAR, Science Teaching through its Astronomical Roots (la science enseignée à travers ses sources astronomiques). Ce projet est organisé par le Harvard-Smithsonian Astrophysical Center (voir la note publiée p.24 du Cahier Clairaut n°43).

2. L'Université Ouverte (Open University) fonctionne en Grande-Bretagne depuis 1969, touchant un public dont l'âge moyen est supérieur à 21 ans; ses moyens d'action sont des publications, la diffusion de programmes télévisés, la diffusion de cassettes avec indications d'expériences à faire chez soi.

3. L'Université par correspondance de l'Université de New Mexico (USA): un cours d'astronomie générale a formé en 12 années 73 étudiants d'âge moyen 32 ans ; 90% des étudiants n'avaient pas eu de préparation en Physique, 50% en mathématiques et 97% en astronomie ; la durée du cours s'étale jusqu'à 24 mois ; chaque leçon comprend un chapitre de manuel et des observations.

4. Cours d'été organisé par l'Université du Texas (USA) : le cours dure trois semaines et comprend des observations.

5. Des professeurs itinérants : une organisation élaborée par l'American Astronomical Society ; chaque année de 80 à 100 astronomes visitent pendant un ou deux jours des collèges ; de plus des "journées astronomiques" sont organisées lors de l'assemblée générale de la société.

6. Astronomie pour les étudiants des affaires de commerce : une organisation originale due à Wellesley College (USA) avec l'objectif suivant : les futurs "leaders" doivent comprendre comment la science influence le "business".

La popularisation de l'astronomie

Beaucoup d'idées ont été présentées à Williamstown en voici quelques échantillons.

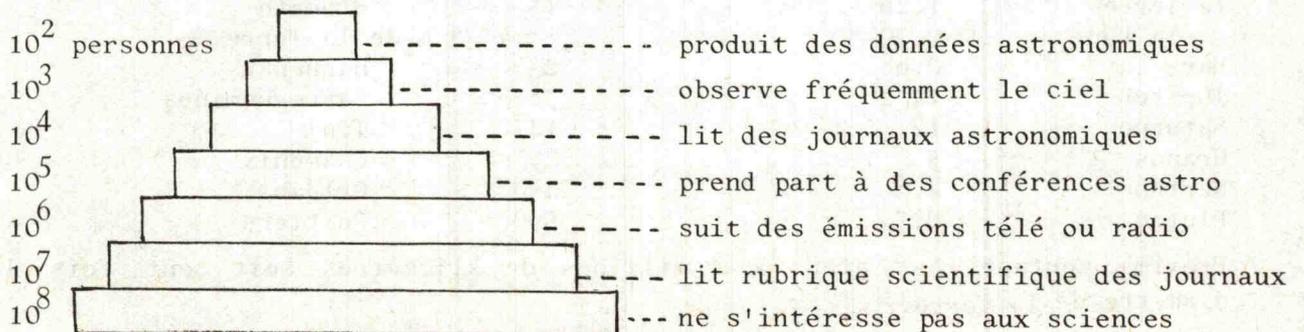
1. Les bons conseils de Patrick Moore qui depuis plus de trente ans donne des conférences de vingt minutes à la radio et à la télévision de Grande-Bretagne, touchant à chaque fois plusieurs millions d'auditeurs fidèles.

Il organise des rencontres devant le micro avec un expert ou deux mais de préférence un seul et en prenant bien garde que l'auditoire n'est pas préparé.

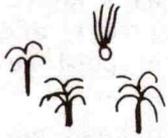
Il doit répondre à une masse de lettres. On lui demande "comment faire de l'astronomie ?" ; il propose des lectures fondamentales, regardez le ciel, par exemple une constellation par jour avec une lunette ; il recommande d'éviter pour commencer les instruments coûteux. Enfin il organise des contacts entre amateurs. On lui demande aussi "Comment devenir astronome ?" Réponse simple : commencer comme amateur et faire des études universitaires.

On lui demande également comment étudier les nouvelles théories astronomiques ; il doit mettre en garde sur la nécessité d'une bonne base mathématique puisque les théories sont décrites mathématiquement.

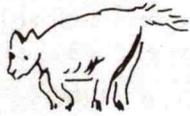
2. La distribution des intérêts en science et en astronomie : la pyramide, une idée présentée par S.Isobe de Tokyo.



3. La contribution des amateurs à l'enseignement de l'astronomie : nous en avons eu maints exemples lors du Colloque n°98 à Paris en 1987 :



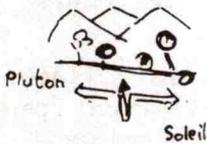
Le club Astrofisica du Paraguay a beaucoup travaillé sur la comète de Halley



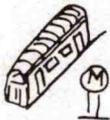
L'association URSA groupant sept mille amateurs a fait dresser des cartes du ciel dans cinq mille écoles.



Le club des Pléiades au collège Valeri de Nice a construit un planétarium dans la cour du collège et en fait profiter les écoles de la région.



En Suisse les "promenades du système solaire" joignent le plaisir des promenades en montagne avec une initiation à l'astronomie.



Le "Ciel ouvert" dans le métro de Paris a permis à des jeunes amateurs d'installer dans 16 stations des panneaux d'information incitant le public à observer le ciel.

4. Une idée d'un membre de l'AAVSO (l'Association astronomique des observateurs d'étoiles variables) : un bon conseil pour s'adapter à l'obscurité avant d'observer ; mettez-vous debout, regardez en bas, vers vos pieds, clignez des yeux aussi vite que vous pouvez pendant 15 secondes ; maintenant vous devez être bien adaptés pour observer les astres du ciel ... ou trouver votre place dans les ténèbres du cinéma !

Des modèles du système solaire

Pour faire bien appréhender les dimensions véritables du système solaire, on en propose un modèle à une échelle géographique familière. En voici trois exemples.

Sur la carte de Pologne : pour le Soleil, on prend un diamètre égal à la tour de l'Eglise St Jean de Torun (qui s'élève à 53 m) ; toutes les orbites planétaires peuvent alors être dessinées sur une carte de la Pologne avec Torun pour centre.

Modèle pour l'Alsace : pour représenter le Soleil, on prend un diamètre égal à la tour de la cathédrale de Strasbourg (qui a 142 m) ; à cette échelle 10 000 km dans la réalité sont représentés par 1 mètre sur le modèle. On trouve alors la séquence suivante pour les diamètres des planètes et leurs distances au Soleil :

Mercure	0,50 m	6 km	à Kehl
Vénus	1,20	11	La Wantzenau
la Terre	1,26	15	Brumath
la Lune	0,30		à 38 m de la Terre
Mars	0,68	23	Haguenau
Jupiter	14,2	78	Sarreguemines
Saturne	12	143	Toul
Uranus	5	287	Chamonix
Neptune	4,8	450	Orléans
Pluton	0,5	590	Poitiers

Proxima Centauri est alors à 4 millions de kilomètres soit cent fois le diamètre de la Terre.

Modèle pour Paris : le Soleil est représenté par un disque dont le diamètre est égal à la hauteur de la Tour Eiffel (à peu près 320 m), soit l'échelle représentant 10 000 km de la réalité par 2,4 km du modèle. Ce qui donne la séquence des diamètres des planètes et de leurs distances au Soleil-

Mercure	1,15 m	14 km	à Versailles
Vénus	2,83	26	Pontoise
Terre	3,00	36	Chantilly
Lune	0,7	à 91 m de	la Terre
Mars	1,63	55	Fontainebleau
Jupiter	34	187	Le Mans
Saturne	28,8	343	Clermont-Ferrand
Uranus	12	689	Andorra
Neptune	11,5	1080	Paris-Lourdes-Poitiers
Pluton	1,2	1416	Paris-Perpignan-Paris

Le cas des pays en voie de développement

Nous développerons les deux exemples de l'Inde et du Mexique.

Les réalisations en Inde

Rappelons les conditions géographiques. La superficie du pays, 3,2 millions de kilomètres carrés ; une population de 800 millions d'habitants ; 150 universités et instituts scientifiques, 6 000 collèges, 40 à 50 mille écoles secondaires.

La ville de Hyderabad (4 millions d'habitants) est la capitale de l'état Andhra Pradesh qui en compte 60 millions. Elle possède un planétarium BIRLA depuis septembre 1985; il compte 160 places et présente des activités diverses :

1. Séance au planétarium en trois langues (telugu, hindi, anglais) ; 9 séances par jour de la semaine, 12 séances les jours de fête ; six programmes différents ont été préparés ; à la fin de 1987, 950 000 spectateurs avaient bénéficié du planétarium
2. Une astro-école, installée dans une petite cabane permet à 20-25 personnes de suivre les séances d'un miniplanétarium.
3. Astronomie à roulettes : une exposition itinérante pour visiter les écoles de campagne.
4. Des cours pour les enseignants (durée 2 jours).
5. Cours post-diplôme sur les techniques du planétarium (cours en liaison avec l'Université).
6. Centre d'histoire de l'astronomie ; trois symposium internationaux ont déjà été organisés.
7. Préparation de programmes pour la radio, la télévision des video-cassettes.

Une quinzaine d'autres planétarium existent en Inde ; les plus grands sont à Calcutta (600 places) depuis 1962, Bombay (583 places) depuis 1977 (4 séances par jour en trois langues marathi, hindi et anglais), Delhi (270 places) depuis 1983, Baroda (200 places).

Autres activités pour l'enseignement de l'astronomie en Inde :

- Le Centre interuniversitaire d'Astrophysique de Poona doit organiser en 1989 la formation des docteurs en astronomie non seulement pour l'Inde mais aussi pour les pays de la région.
- La publication de brochures destinées aux enfants, en anglais, par le centre d'enseignement du TIFR (Tata Institute for Fund Research) de Bombay.

Les réalisations au Mexique

La superficie du pays est 1,97 millions de kilomètres carrés : la ville de Mexico compte vingt millions d'habitants. Le niveau moyen d'instruction de la population est celui des quatre classes d'école primaire.

L'Institut d'Astronomie (50 personnes avec des techniciens) de l'Université Nationale Autonome de Mexico (UNAM) organise les activités suivantes

- Cours d'été pour les enseignants d'une durée de six semaines, la plupart suivant plusieurs cours ;
- des conférences dans les écoles, sur demande (il y a dans l'Institut un département pour la popularisation) ;
- la préparation de manuels rédigés en espagnol ;
- la publication de brochures pour les enfants ;
- l'édition d'un bulletin pour la presse, ORION.

Lors du colloque 105 et l'assemblée générale de l'UAI, Julieta Fierro de l'UNAM et Jayant Narlikar, directeur du centre interuniversitaire et auteur de livres, ont commencé d'organiser une liaison entre l'Institut Astronomique de l'UNAM et le Tata Institute de Bombay pour un échange de publications, (la langue commune étant l'anglais).

Les besoins urgents, selon Luiz Rodriguez, ancien directeur de l'Institut d'Astronomie de l'UNAM, sont : davantage de personnes instruites et développer l'appréciation de l'enseignement comme une activité de valeur, une activité utile.

Des livres et des planétarium

On a beaucoup discuté des livres et des manuels ; on ne peut pas traduire littéralement les manuels qui existent dans d'autres pays car chaque pays a ses coutumes, ses habitudes, fondements de sa culture. Ce qui est important pour les pays en voie de développement : les achats mais où prendre l'argent ? les donations, mais il y a des difficultés avec les taxes ; les traductions avec une adaptation locale ; les publications locales mais il y a des difficultés avec le tirage, les auteurs, les illustrations.

Sur les planétarium. L'auditoire est motivé "s'ils sont là, c'est qu'ils ont voulu venir". Trois types d'activités : l'instrument, la séance, la conférence :

- Westlake (Ohio, USA) : on distribue des feuilles d'activités avec des questions "où sera la Lune dans une semaine, où sera UMa dans une heure, où se lèvera le Soleil ?

- Lakeview (USA), projet STARWALK 3 visites par an dans les écoles primaires ; des exercices par écrit avant et après une visite (observations, calculs et dessins).

- Marseille, planétarium transportable diamètre 4 m, permet de toucher 10 000 élèves par an ; En France il y a 9 grands planétarium et neuf planétarium transportables .

- Stuttgart (RFA) : exposition de peinture cosmique : les thèmes étaient interprétation de la lumière, paysages cosmiques, variations sur l'infini,

- Frombork (Pologne). Activité de vacances. Le planétarium se trouve dans une petite ville au bord de la mer, au nord de la Pologne, là où Copernic a vécu et préparé son oeuvre ; il a lui-même décrit Frombork comme "le coin le plus reculé du monde". Comme la ville est pleine de touristes en été, le planétarium organise des séances pour les jeunes. Chacun doit travailler deux heures par jour, avec diverses formes d'aide : observations du Soleil, du ciel la nuit, etc. Chacun a assez de temps pour poursuivre ses propres travaux. Il y a chaque été environ 40 participants. Il existe une société des Amis du Planétarium et de l'Observatoire, le "Pulsar" formé de ses participants des activités de vacances. Les membres viennent en aide pendant l'hiver, achetant les livres d'astronomie qui viennent de paraître dans les grandes villes.

Le DOW planétarium de Montréal a même organisé des programmes spéciaux pour les aveugles : un modèle du système solaire en relief, des explications en Braille ; les visiteurs non handicapés doivent porter des masques noirs.

Comme devant le bâtiment du planétarium se trouve la statue de Copernic, copie de celle qui se trouve à Varsovie. On peut donc dire qu'après avoir visité l'exposition de Montréal les aveugles pourront mieux apprécier les mots tirés de l'oeuvre de Copernic : "le Soleil gouverne la famille des astres qui l'entourent..." Et comme les mots suivants de Copernic sont "nous trouvons dans cet ordre admirable une harmonie du monde... qu'on ne peut pas retrouver d'une autre manière", on devrait penser aussi à l'harmonie entre les personnes qui voient bien et les personnes handicapées, et aussi bien l'harmonie de l'éducation que nous donnons à l'esprit et au coeur de nos élèves.

Cecilia Iwaniszewska

UNE ARME SECRETE: L'ASTRONOMIE

Au cours de ces dernières années, le tollé général à propos de l'insuffisance de l'enseignement scientifique dans les écoles a atteint un paroxysme. Le fait que l'étudiant américain moyen continue malgré cela à ne suivre qu'une année seulement d'enseignement scientifique vient toutefois tempérer ce bel enthousiasme.

La raison n'en est que trop évidente. Les cours de physique, de chimie et de biologie actuellement dispensés sont peut-être stimulants pour des étudiants motivés, mais ils risquent aussi de les noyer irrémédiablement. Ces cours tentent d'être les plus complets possible et leur densité les rend souvent incompréhensibles. La réponse des étudiants à cette situation est de ne pas s'inscrire du tout, mettant ainsi un terme prématuré à leur éducation scientifique.

Un cours d'astronomie stimulant et compréhensible pourrait réconcilier les élèves sortant des lycées avec les études scientifiques. L'Astronomie, il est vrai, n'est ni plus noble ni plus importante que les autres sciences traditionnellement enseignées à l'école. Mais elle est plus "visuelle". Tout en se situant aux frontières de la découverte scientifique mais elle n'est pas ésotérique au point qu'un étudiant ne puisse en comprendre la substance. En outre, l'Astronomie, tout comme le sport, continue à intéresser les adultes longtemps après qu'ils aient terminé leurs études. Cela est amplement démontré par la popularité des planétariums, par les foules de plus en plus nombreuses qui assistent aux séances publiques d'observation, et le chiffre des ventes de petits télescopes.

On peut alors se demander s'il est possible d'enrôler l'astronomie dans cette croisade pour la culture scientifique. La réponse est: Oui, absolument. Et en ce moment, la "National Science Foundation" soutient un programme à cet effet lancé par le Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics de Cambridge, Massachusetts. Le projet STAR (Science Teaching through its Astronomical Roots: Enseignement Scientifique par le biais de l'Astronomie) développe actuellement un programme qui vise à améliorer en volume et en qualité le contenu des cours d'astronomie dispensés dans les lycées.

Le projet STAR est centré sur un nombre limité de concepts scientifiques, sur lesquels on revient sans cesse en les présentant dans des contextes variés allant de la salle de classe à l'Univers dans toute son immensité. L'Astronomie permet aux étudiants de travailler sur une très grande diversité d'échelles de dimensions et de distances. Ils peuvent voir les mêmes principes fondamentaux s'appliquer dans tout l'Univers et en retrouvant constamment ces concepts de base, ils finissent par se les approprier.

Le projet STAR est principalement axé sur l'Astronomie, mais l'objectif est d'aider l'étudiant à saisir l'essence de la science et des mathématiques en général. La majeure partie des concepts mathématiques utilisés en Astronomie sont familiers aux étudiants, mais ils sont rarement appliqués à des situations réelles. Les rapports, les triangles semblables, les ordres de grandeur et les représentations graphiques se révèlent être, en Astronomie, de puissants outils qui aident étudiants et scientifiques à donner quelque sens au monde qui nous entoure.

Le projet STAR interpelle directement les idées fausses que l'étudiant peut se faire du monde. Par exemple, les entretiens qu'on peut avoir avec des adultes montrent que la plupart d'entre eux pensent qu'il fait plus chaud en été qu'en hiver parce que la Terre est alors plus proche du Soleil. Les explications classiques qu'on peut trouver dans les manuels sur la cause réelle des saisons ont apparemment peu d'effets sur les étudiants. Par contre, lorsqu'ils trouvent par eux-mêmes que la Terre est effectivement plus loin du Soleil lors de l'été boréal, ils se rendent alors compte qu'il faut une autre explication.

Nous les humains ne pouvons bien apprendre que par la pratique. Après tout, quelle serait votre réaction à l'idée de vous faire opérer par un chirurgien qui n'aurait jamais pratiqué sur d'autres personnes mais qui aurait lu des montagnes de livres sur le sujet et rempli avec succès les blancs d'innombrables feuilles de test portant sur la chirurgie? Pensez à quelque chose que vous réussissez bien: comment avez-vous appris à le faire? Un enseignement scientifique efficace repose sur des activités pratiques, beaucoup d'activités pratiques.

Il n'est pas nécessaire de disposer de puissants télescopes de gros diamètre pour explorer le ciel. Il est possible faire un grand nombre d'observations passionnantes avec des lunettes coûtant moins de 5 francs qui sont cependant meilleures que celle de Galilée. Les étudiants peuvent dresser une carte des "mers" et des montagnes lunaires, estimer la taille des plus grands cratères, et découvrir la variété des espèces qui cohabitent dans le zoo astronomique.

L'Astronomie est une science de l'espace. Cependant, la plupart des étudiants peuvent éprouver une grande difficulté à acquérir le sens de l'espace à partir des notions exposées dans les manuels. Aussi bien, STAR a étudié une sphère armillaire, coûtant 3 francs et qui peut être assemblée par les étudiants. Grâce à elle, ils peuvent déterminer les diverses positions du Soleil couchant au cours de l'année, trouver quelles constellations se trouvent au zénith ce soir à 9h, et y porter les objets faibles à observer au télescope ou aux jumelles. Plus tard, ils construiront des modèles à trois dimensions de constellations ou de groupes de galaxies.

Quel est l'éclat du Soleil? A quelle distance se trouvent les étoiles? La relation distance-éclat est un outil fondamental pour la mesure des distances. Les étudiants peuvent déterminer la quantité d'énergie reçue du Soleil grâce à une ampoule électrique et un photomètre à extinction constitué de paraffine et de papier d'aluminium (coût: 1.50 franc). En se servant de cela comme référence et en supposant que les étoiles les plus brillantes du ciel sont identiques à notre Soleil, les étudiants peuvent estimer leur distance avec une simple torche électrique et un fragment de fibre optique.

A la fin de l'année dernière, nous avons achevé un recensement des cours d'astronomie assurés dans les lycées américains. Nous avons localisé 408 enseignants assurant un cours d'astronomie d'une durée supérieure ou égale au semestre et nous estimons qu'un nombre au moins double de ces collègues restent encore à localiser.

Beaucoup de ces enseignants appartiennent à des sociétés astronomiques et lisent "Sky & Telescope". Pour eux, l'Astronomie qu'ils enseignent n'est pas une simple matière de programme mais la vocation d'une vie. La plupart ont rédigé leur cours d'astronomie, unique, et bâti leur propre programme et leurs propres exercices. Quelle autre discipline suscite un tel intérêt populaire?

Peut-être ce groupe représente-t-il la fine fleur des enseignants qui consacrent leurs efforts à l'enseignement des sciences aux Etats-Unis. Mais d'autres collègues, qui s'intéressent à l'Astronomie mais ne dispensent pas de tels cours pourraient trouver une aide dans l'exemple donnée par ces pionniers. En aidant matériellement des ateliers d'initiation, nous espérons encourager la multiplication des cours d'astronomie. Les enseignants expérimentés et enthousiastes qui enseignent l'astronomie sont tout désignés pour participer à ces ateliers et en guider les participants.

Nous invitons tous ceux qui partagent nos vues à nous contacter. C'est seulement en rassemblant toutes les ressources disponibles que nous pourrions frapper un grand coup en faveur de la culture scientifique. Il faut que l'Astronomie soit enseignée dans TOUS les lycées américains.

Philip M. SADLER

Actuellement Directeur du Projet STAR, Sadler a été successivement enseignant, conseiller pédagogique en matière de programmes scolaires, et industriel. Il a inventé le planétarium transportable STARLAB en 1976.

LA LUNE ET LES SATELLITES

Le second ouvrage de la collection "Fenêtre ouverte sur le ciel" (éditions Epigones) est consacré à la Lune, avec une ouverture sur "les autres lunes du système solaire". Gilbert Walusinski en est l'auteur et Vincent Chaix en a réalisé les illustrations.

Comme le précédent, "Notre étoile Soleil" (voir les CC n°38, page 14), cet ouvrage destiné à de jeunes lecteurs présente une succession de thèmes, occupant chacun une double page. Un index et un glossaire complètent heureusement l'ouvrage.

Les thèmes abordés sont successivement : "un clair de Lune", incitant à l'observation et proposant la construction d'un instrument simple permettant de mesurer la hauteur de la Lune, "La Lune au jour le jour", où l'on suit les phases et la lumière cendrée, "les mouvements de la Terre et de la Lune", "les marées", "les éclipses", "la carte de la Lune", "fusées et satellisation", "les missions Apollo et le débarquement sur la Lune", "l'exploration du sol lunaire", "les autres lunes du système solaire", "une autre vision de la Terre", à partir des "lunes" artificielles, tel le satellite Spot, "Satellites, science et communication" et, après ces visions assez techniques de la science moderne, on termine sur un peu de poésie avec "la Lune et les hommes", sans oublier le calendrier.

Les explications sont claires, la présentation agréable; nul doute que le sujet intéresse particulièrement les jeunes lecteurs auxquels l'ouvrage s'adresse. A mettre dans la hotte du Père Noël !

Lucienne Gouguenheim

UN DOUZE NOVEMBRE A ORSAY

Dix heures du matin ; dans la fac endormie sous le brouillard du samedi s'affairent quelques illuminés. Monique Gros est la première d'entre nous que je rencontre et nous parlons de cette bonne vieille fac aux murs grisonnants qui, s'ils pouvaient parler, nous renverraient le compliment -en respectant les lois de Snell-Descartes, bien sûr.

Tout commence par Gilbert, notre trésorier, qui avoue d'entrée de jeu, pour que ce soit vite classé, qu'il faut augmenter abonnement et cotisation. Adopté sans récrimination. Pour les Cahiers, on se privera bien pendant quelques lunes du gâteau du dimanche. Mais pas de celui de Béatrice dont il faut évoquer tout de suite le dévouement poussé jusqu'à faire la cuisine pour une assemblée à laquelle elle ne pouvait pas prendre part.

Suivirent de bons témoignages de la vitalité du CLEA comme dit Lucienne: Daniel Bardin avec son rayon vert et sa panoplie de spectres impressionnants et impressionnés (pour l'éternité sur diapos). De bons échos des sections de Marseille par lui-même, de Grenoble, de Strasbourg et de son planétarium.

Puis Dr Szostak, un invité allemand, nous étonna avec, entre autres, un miniciel à étoiles lumineuses sur fond de ciel noir (Canson percé de trous d'épingles). Et chacun se dit immédiatement, dans une formidable concordance de phase synchronisant les applaudissements, "comment n'y avons-nous pas pensé plus tôt, nous les Français qui avons déjà la boîte à constellations !" Mais c'est comme pour l'invention de la roue, il faut le trait de génie, que nous saluons ici. Avec la magie du rétroprojecteur, c'est très beau et doux d'imaginer ces miniciels fleurissant les lycées de leurs nuits scintillantes. On imagine déjà les raffinements de magnitude obtenus avec un jeu d'épingles de sections variées et le papier vitrail que les poètes vont scotcher, bleu sous Rigel, rouge sous Bételgeuse. Pour les étoiles filantes, je n'ai pas encore d'idée, mais cela ne saurait tarder à germer au zénith de ma masse cervicale. Cela finit par un beau lever de nuit sur Orion, au moyen de polariseurs doucement croisés. Et les provinciaux d'entre nous apprirent que la traditionnelle attache parisienne, axe indispensable, peut aussi bien être remplacée par un bouton pression, plus universel. Les merceries apprécieront, ouvertes aux astronomes des deux sexes qui, de toutes façons, doivent y entrer pour se procurer le susdit jeu d'épingles...

Il y eut Anne-Marie Louis, enfonçant à nouveau le clou des pseudo-sciences. Je l'approuve personnellement ; un clou n'est jamais assez bien enfoncé. D'ailleurs la présence parmi nous d'un amateur astrologue convaincu vint nous rappeler qu'une population de professeurs du CLEA, dans un amphi bien isolé peut présenter localement des écarts à l'équilibre, et qu'un strapontin d'amphi, statistiquement, présente une chance sur 100 000 d'héberger un astrologue avoué (et combien d'inavoués ?) et que cela ne fait pas toujours zéro présent parmi nous. Il me vint quelques pensée pessimistes du genre: "chassez l'astrologie, la numérologie reviendra au galop", ou faut-il lutter contre les besoins viscéraux des gens ? M.Gié orienta les espoirs dans l'action au niveau des enfants, puis ce fut la belle réponse de Lucienne conseillant simplement à tous de relire E.Schatzman dans le dernier C.C. Lucienne qui juste avant, brassant les galaxies comme vous et moi les feuilles mortes en novembre, expliquait l'activité des galaxies superlumineuses par l'effet MASER. Et l'enseignant émerveillé, qui donne beaucoup, et reçoit désormais peu d'informations, mesure tandis que la nuit tombe doucement, tout ce qu'il a oublié. Nous resterait-il au moins la culture ?

L'après-repas nous avait apporté une bouffée vivifiante de dynamisme serein, ce que j'appellerai l'heure du grand bon sens : Nicoletta Lanciano venue nous rappeler qu'il faut savoir se passer d'instruments et de démarches sophistiqués, ne pas céder à la démagogie de trop s'adapter à des exigences

créées par des modes ; elle a le bon goût de ne rien citer à ce sujet, mais je ne peux m'empêcher de penser à ce professeur de musique qui n'osait plus parler de Schubert, sous prétexte que "les enfants actuels veulent seulement du Rock". Triste histoire. Nicoletta nous rappelle que les enfants seront toujours curieux de belles choses simples. Effectivement, il faut les voir ces petits enfants de Rome, ficelés dans l'horizon de papier qu'ils viennent de dessiner, car pour Nicoletta, "les planétariums, c'est pour les gens du Nord". Cela me fait penser à la chanson (de Serge Reggiani) "Venise n'est pas en Italie... c'est là où tu es heureux". Pour elle, les planétariums, c'est pas sous les coupoles, c'est partout où il fait beau !

Et, parce que nous avons fini sur ses biscuits, sans tellement lui redire merci, c'est Cecilia Iwaniszewska que j'ai gardée pour la fin. Je l'avais bien lue, nous présentant Torun et Copernic, mais jamais encore vue. Et ça ce fut un grand moment. Elle nous fit voyager dans le monde entier avec ses évocations colorées. Après la photo souvenir des participants à Williamstown, ce fut l'Inde et de jolis contrastes, chez elle, à Frombork, "le coin le plus reculé du monde", et la belle histoire du modèle planétaire pour les aveugles et la cathédrale de Torun qui serait notre chaud Soleil si la froide Pluton était dans la neige des Tatras. Il y eut l'ambre de la Baltique pour marquer à Lucienne son amitié, cette même ambre que nous évoquons en Quatrième avec la classique histoire du mot grec "électron". Elle avait même pensé aux assiettes pédagogiques. Car il ne fait aucun doute que les cycloïdes pyrogravées dans la tradition populaire polonaise furent ainsi dessinées pour montrer au monde (peut-être dès le XV^{ème} siècle) la trajectoire de Torun dans un référentiel de Copernic ! Cecilia termina avec le brio du magicien qui sort des lapins de toutes ses poches. Car quand bien même il n'y aurait plus rien dans les magasins, ni de zlotys dans sa "cassette", elle ferait sortir pour nous ses biscuits de sous la bureau de l'amphi. Pour nous elle n'a pas dormi dans le car au retour de Williamstown, cogitant ce qu'elle voulait nous dire sur le plaisir d'enseigner. Elle peut dormir, dans son Est regagné, heureuse de sa mission accomplie pour notre enchantement à tous. Je voulais lui redire dans sa langue "dziękuję barzo" c'est à dire un grand merci de nous tous à ces invités passionnants.

Et tant mieux, 1989 n'est pas bissextile, tout cela a des chances de revenir un jour plus tôt.

Cécile Schulman

N.D.L.R. - Bravo Cécile. Tu as très bien su rendre le climat chaleureux de notre assemblée. Même quant à partir d'une boutade, tu engages le bon débat sur notre attitude en face des fausses sciences. Evry Schatzman engageait Jean-Claude Pecker à chercher les bonnes réponses qui ne peuvent se limiter à l'étroite affirmation scientifique. Nous devons tous chercher également. Et Serrero a bien fait, à cette occasion de rappeler l'attitude ambiguë de beaucoup de scientifiques dans la récente affaire de "la mémoire de l'eau".

Si bien que pour les lecteurs des Cahiers qui n'étaient pas à Orsay, ce 12 novembre, tu as su, Cécile, avec le sourire, en dire plus que le froid compte-rendu du secrétaire.

METTEZ VOTRE PLANETAIRE A L'HEURE

Voici les longitudes héliocentriques des planètes au			
1 ^{er} Janvier 1989	ou 19890101 :		
Mercure 348°	Vénus 226°	Mars 60°,6	
Jupiter 64°,5	Saturne 275°	Uranus 271°	
Neptune 280°			

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

DEUX NOUVEAUX FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES

Dans la collection "Formation continue des maîtres en Astronomie" du Laboratoire d'Astronomie de l'Université Paris XI (Orsay), déjà riche des fascicules annoncés p.3 de la couverture des Cahiers, voici deux nouveaux fascicules VIII et IX que le CLEA est heureux de diffuser. Et d'autres fascicules, X. La Lune et XI. La Terre et le Soleil sont annoncés pour paraître bientôt.

VIII. Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie (164 p. ; 60F)

Sommaire : Avant-Propos. Chronologie-Livret pour l'Enseignement de l'Astronomie. Les premières mesures de distances en astronomie. Système de Ptolémée et système de Copernic. La genèse des lois de Kepler. De Galilée à Römer: des hommes, des institutions, des découvertes..., un grand siècle dans l'histoire de l'astronomie. Peiresc. Johannes Hevelius et l'histoire d'une querelle astronomique. Petite histoire de la parallaxe du Soleil. Après trois cents ans... lecture de Newton. La bonne étoile de James Bradley. En attendant son retour, les comètes et celle de Halley. Friedrich Wilhelm Bessel, l'astronome de Königsberg. Indications bibliographiques.

IX. Le système solaire (228 p. ; 50 F)

Sommaire : Le système solaire. L'origine du système solaire. Dernières nouvelles du système solaire. Uranus, le 24 janvier 1986. Rencontres célestes. Jupiter et ses satellites. Masse de Jupiter. Vitesse orbitale de la Terre. Période de rotation de Mercure. Orbite de Mercure et durée du jour sur Mercure. Orbite de Mars. Rétrogradation de Mars. Orbite de Mars selon Kepler. Les boucles de Vénus. L'équation de Kepler. Modèle simplifié du système solaire. Une sphère armillaire. Une sphère armillaire pliable. Sphère céleste mobile. Sphère céleste. Planétaire héliocentrique. Planétaire géocentrique. Construction d'un planétaire. Construction d'un cosmographe. Les comètes et la comète de Halley. La pression de radiation solaire. En attendant son retour. Une année avec la comète de Halley en grande section de la Maternelle. A propos de comètes. L'Ourse et la comète. Positions et vitesse de la comète de Halley. Bibliographie.

PARVIAINEN (Pekka): "Atmospheric Phenomena", 20 diapositives, URSA Astronomical Association, Laivanvarustajankatu 3, SF-00140 HELSINKI (Finlande), 215.00 marks finlandais, franco.

Il est inhabituel de proposer à la Marquise de contempler des diapositives et de plus le sujet qu'elles abordent n'est guère astronomique. Mais leur intérêt et leur qualité feront pardonner cette dérogation aux usages et après tout, qui de nous n'a jamais scruté le ciel "météorologique", ne serait-ce que pour savoir si la soirée sera propice à la contemplation des étoiles?. Ceux qui ont la chance de pouvoir lire une revue comme "Sky and Telescope" connaissent bien, pour avoir pu admirer ses superbes photos, P. Parviainen. En 20 diapositives soigneusement choisies, il nous présente un échantillonnage des principaux phénomènes lumineux aériens qu'il nous est possible d'observer: piliers lumineux, halos, gloires, nuages lumineux nocturnes, arcs en ciel et autres, avec en prime, une vue spectaculaire des interférences colorées qu'on peut voir à la surface d'une bulle de savon. A la fois insolites et belles, ces diapositives pourront illustrer un cours de Géographie sur l'atmosphère ou un cours de Physique sur la Lumière. Elles devraient en tout cas piquer la curiosité de nos élèves et les inciter à lever le nez vers le ciel. On pourra regretter leur prix plutôt élevé (1 mark finlandais vaut environ 1,50 franc) et la nature assez succincte de la notice d'accompagnement (en anglais). Les diapositives sont toutefois montées dans de robustes cadres en plastiques, et non dans un carton fragile, d'où une assurance de longue vie. A noter que l'URSA est un peu en Finlande comme le CLEA en France. Avant une éventuelle commande, il est conseillé de contacter l'association à l'adresse donnée ci-dessus pour s'enquérir d'une éventuelle modification du prix (il est préférable d'écrire en anglais).

LA RELATIVITE

par Stamatia Mavridès, collection "Que sais-je ?" n°37 (ed PUF)

Dans cette célèbre collection des "Que sais-je ?", Paul Couderc avait inauguré, ou presque, la vulgarisation scientifique de haut niveau par un livre portant le même titre et le même numéro. De nombreuses rééditions avaient paru dont celle, en 1981, qui avait été revue par Francis Perrin. Paul Couderc avait été de l'équipe des pionniers qui diffusèrent la Relativité alors que beaucoup de scientifiques avaient encore des difficultés à en assimiler les nouveaux concepts. Son livre portait donc la marque des débats qui marquèrent l'époque, de 1920 presque jusqu'à 1939. Le livre de Mavridès reprend le sujet d'une manière qui convient mieux au développement actuel de la science, la confrontation avec l'ouvrage de Paul Couderc restant d'autant plus instructive.

On peut dire que maintenant le terrain a été défriché. Faire tenir, dans le format obligé de la collection (128 pages) l'exposé de la relativité restreinte et de la relativité générale reste cependant une prouesse. Mavridès l'accomplit de façon convaincante. En illustrant des résultats surprenants de bons exemples : l'effet Cerenkov sur la vitesse des particules qui dépasse la vitesse de la lumière dans un milieu non vide ou la vitesse "super-luminale" des radiosources qui paraissent s'écarter l'une de l'autre à des vitesses supérieures à $2c$. Quant aux illustrations de la relativité générale, lentilles gravitationnelles, étoiles à neutrons et quasars, trous noirs, elles nous plongent dans les sujets les plus actuels de l'astronomie.

L'exiguité du format contraint Mavridès à se limiter à une trop mince esquisse de la cosmologie relativiste. Ce n'est pas une critique, la place manque, mais un regret tant le sujet est passionnant.

Les lecteurs des Cahiers qui ont fait un si bon accueil O combien justifié au fascicule sur la Relativité restreinte de Roger Gouguenheim auront aussi grand profit à lire le petit bijou de Mavridès.

SILENCE AU POINT D'EAU

par Emmanuel Davoust ; préface de Jean Heidmann ; 208p.; éd Technea (89 F).

Le problème de la vie dans l'Univers est traité par Emmanuel Davoust sous tous ses aspects. Le titre du livre s'explique : les radioastronomes ont surnommé "le point d'eau" la bande de fréquences où ils pensent avoir le plus de chances de détecter un signal artificiel d'origine extraterrestre. Or, pour le moment, "silence au point d'eau". Mais la recherche dans ce domaine n'en est que plus attrayante...

Le sommaire du livre montre l'étendue de l'enquête :

1. Les comètes et l'origine de la vie.
2. La dimension temporelle de la vie.
3. Evolution et catastrophes.
4. Notre avenir est-il dans l'espace
5. Recherche de la vie au voisinage du Soleil.
6. Recherche de systèmes planétaires.
7. Démographie des civilisations extraterrestres.
8. Sociologie des civilisations extraterrestres.
9. Ovni et paléovisites.
10. Stratégie de recherche des civilisations extraterrestres.
11. Recherche de signaux d'origine artificielle.
12. Le débat dans la société.
13. La place de l'homme dans l'Univers.

On comprend la portée philosophique du sujet. L'humanité a eu beaucoup de mal à se faire à l'idée que la Terre n'était pas le centre du monde et la conviction est loin d'être unanime. Découvrir la vie hors de la Terre nous éviterait cette rémanente tentation de nous croire uniques pour ne pas dire excellents, sublimes, etc... Ce qui rend la lecture du livre de Davoust fort plaisante.

DECOUVERTE DE L'ASTRONOMIE

par Alan Davies. Volume 1, 46 p ; vol 2, 62 p. 24 diapositives d'accompagnement ainsi qu'un livret de réponses aux questions et des propositions de recherche.

Ces deux ouvrages sont conçus dans la perspective des programmes des classes de CM1 et CM2, le second volume reprenant les thèmes du premier en les approfondissant. Tous les sujets sont abordés, mouvements de la Terre, le Soleil, les planètes, les étoiles et les galaxies. Des illustrations claires, photos ou dessins. Autrement dit, des manuels qui seront utiles aux maîtres, en particulier à ceux qui ne connaissent pas les Cahiers Clairaut.

GNOMON

Newsletter of the Association for Astronomy Education

AAE ou Association for Astronomy Education est une association anglaise dont les buts et les moyens sont assez semblables à ceux du CLEA, promouvoir l'enseignement de l'astronomie en agissant par la formation et l'information astronomique des enseignants. Les modalités d'action de AAE sont adaptés à l'organisation de l'enseignement telle qu'elle existe en Grande-Bretagne et qui est assez sensiblement différente de la nôtre (pas d'organisation centralisée, assez large autonomie des écoles et des collèges). AAE édite un bulletin (trois numéros par an) GNOMON que nous sommes heureux d'échanger avec nos Cahiers Clairaut.

GNOMON donne des informations théoriques et pratiques, des lettres de lecteurs, des analyses de livres récents, des échos d'actualité comme par exemple les idées de l'astronome Anderson sur l'existence d'une dixième planète. Le format est celui de nos Cahiers sous un volume plus restreint (6 à 8 pages) mais l'impression est plus serrée.

Nous aurons certainement bien des occasions de faire écho aux articles de GNOMON. Voici l'un des problèmes proposés dans le n°7-2 de janvier 1988 :

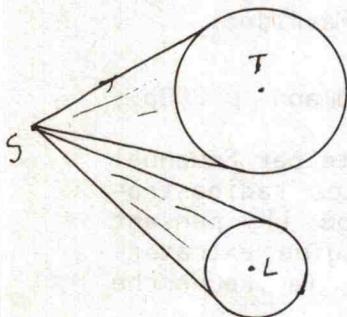
"Le schéma montre le flux de particules émises par le Soleil (le Vent solaire). Certaines de ces particules frappent la Terre et la Lune. Ces deux corps acquièrent ainsi des charges électriques, la Terre plus que la Lune. L'acquisition de ces charges électriques augmente les potentiels électriques de la Terre et de la Lune eu égard à leurs capacités. Il doit ainsi exister une différence de potentiel entre la Terre et la Lune. Quand un astronaute venant de la Terre se pose sur la Lune, cette différence de potentiel lui donne-t-elle l'expérience d'un "électrochoc" ?

Expliquer ce qui se passe.

GLANE

Dans un livre remarquable sur la vie et l'oeuvre de Léonard de Vinci (par Serge Bramly, éd J.C.Lattès) je ne retrouve pas la mention de son explication de la lumière cendrée de la Lune. Par contre, je relève qu'il a observé des éclipses de Soleil en 1478 et le 16 mars 1485 ainsi qu'une comète "visible en plein jour" en 1472. Voici d'autre part l'explication que donnait Léonard du bleu du ciel : "Je dis que l'azur que l'air nous fait voir n'est pas sa couleur propre, mais que cette couleur vient de l'humidité chaude évaporée en minuscules et insaisissables parcelles qui, étant frappées par la lumière du Soleil, deviennent lumineuses au-dessous de l'obscurité des immenses ténèbres qui les coiffent comme un couvercle..."

G.W.



LA CHRONIQUE DU CLEA

Assemblée générale du 12 novembre 1988

L'assemblée générale du CLEA s'est ouverte le samedi 12 novembre 1988 à 10 heures, sous la présidence de Lucienne Gouguenheim, dans l'amphi G3 du bâtiment 450 de l'Université Paris XI, Centre scientifique d'Orsay. Plus de cent vingt collègues y ont participé, venant comme de coutume, de toutes les régions de France. Les Présidents d'honneur du CLEA, Jean-Claude Pecker et Evry Schatzman, tous deux en mission aux USA, nous avaient adressé des messages d'encouragement et de sympathie. Ce qu'avaient fait également nombre d'amis empêchés de se joindre à nous pour cette journée de bilan et d'échange.

RAPPORT GENERAL

présenté par Gilbert Walusinski, secrétaire-trésorier du CLEA.

L'organisation du travail du secrétariat reste sans changement. Jacques Dupré tient à jour le fichier des abonnés et des cotisants sur son ordinateur ; il tire les étiquettes pour l'expédition de la revue ou des convocations à l'assemblée générale. G.W. assure la correspondance, en particulier les envois des publications commandées au CLEA

BILAN FINANCIER : il concerne les recettes et les dépenses du CLEA du 1/11/1987 au 25/10/1988.

<u>Recettes</u>		<u>Dépenses</u>	
abonnements simples	19 735,60	impression CC	56 985,60
abonnements-cotisations	39 062,60	réalisation Kit	5 325
collections CC	3 928	fascicule Relativité	6 500
TranSoLuTe	12 730	fascicules 1,2 et 3	11 950
fascicules	6 203	retirages CC	3 489,50
Comptesrendus UEA	2 084	fascicules thematiques	11 858,50
starlab	1 600	nouveaux fascicules	11 309,27
subvention stage Orsay	9 000	frais postaux	22 733,80
divers (dons)	8 070	frais secrétariat	3 557,39
total des recettes	102 413,20	divers (stage, AG,..)	6 830,50
		total des dépenses	148 539,56
<u>Compte spécial Université d'été de Gap 1988</u>			
recettes	103 625,70		
dépenses	127 046,17		

Remarques sur les données comptables : 1) Malgré une petite remontée du nombre des abonnés, les recettes sont en diminution sur 1987. Cela s'explique : en 1987, pour la première fois, nous avons eu la possibilité de nous abonner pour deux ans ; il en est résulté un certain gonflement des recettes 87 et par contre coup une diminution en 88. D'autre part, la subvention annuelle de l'académie de Versailles comptabilisée en 87 pour 20 000 F n'était pas encore versée le 25 octobre 88, elle l'a été depuis mais ne s'élève cette année que de 15 000 F.

2) Nos dépenses ont beaucoup augmenté pour trois raisons. 21°) L'amélioration de la présentation des Cahiers Clairaut qui a été généralement bien reçue représente, sur ce chapitre impression une augmentation de 50% ; elle devrait, à terme, être compensée ou récompensée par une augmentation plus sensible du nombre des abonnés ; cependant, à court terme, elle nous oblige à relever les tarifs d'abonnement.

22°) Nous avons édité ou réédité plusieurs fascicules pour la formation continue des maîtres en astronomie. Nous disposons d'un stock important de publications que nous pensons utiles aux Collègues ; la vente de ces publications aux justes tarifs que nous pratiquons devrait renforcer nos recettes en 1989. Soulignons ici que plus de la moitié des recettes sur ce chapitre provient de la vente du TranSoLuTe, un succès qui s'affirme de mois en mois, bravo Jean Ripert!

23°) L'Université d'été 87 nous avait laissé un petit bénéfice (4 309 F), celle de 88 un assez gros déficit (23 420 F). Mais nous ne regrettons rien, l'organisation des Universités d'Été a été la raison d'être du CLEA. Nous ferons en sorte que les futures Universités d'Été aient des budgets mieux équilibrés.

En fin de compte, au 25 octobre 1988, l'état de la trésorerie du CLEA était le suivant:

caisse d'épargne	24 402,70
ccp	90 148,32
total	114 551,02

Bilan des cotisants CLEA et des abonnés aux Cahiers Clairaut : évolution des effectifs depuis

	cotisants	abonnés
1984	750	1208
1985	700	1044
1986	581	952
1987	596	910
1988	586	960

On note la presque constante proportion des cotisants, un peu plus de 61% des abonnés. Nous servons, de plus soixante abonnements soit à titre d'échanges, soit à des VIP soit encore des services obligatoires. La décroissance du nombre des abonnés en 1987 ne nous avait pas trop inquiétés car nous constatons une dérivée seconde positive dans l'évolution des effectifs. Ce que confirme la petite remontée en 88. Nous devrions nous fixer l'objectif des 1200 abonnés en 1989, ce ne serait pas une révolution mais un premier pas, une première étape.

A la suite de la présentation de ces données, l'assemblée approuve les comptes 1987 et décide l'augmentation suivante des tarifs d'abonnement pour 1989 : abonnement simple 80 F (au lieu de 60) ; abonnement ET cotisation 100 F (au lieu de 80).

Le trésorier remercie l'assemblée pour son approbation des comptes. Il émet le voeu que l'augmentation des tarifs n'empêche pas les Collègues qui le peuvent de majorer leurs versements d'un "soutien" qui, la présentation ci-dessus le montre, sera toujours bien reçu.

SUITE DU RAPPORT GENERAL

Des Collègues empêchés d'assister à l'assemblée générale nous ont envoyé des comptes rendus de leurs activités. Des présents n'ont pas pris la parole, le temps nous étant compté mais ont remis des notes sur leurs travaux. En voici un résumé.

Frédéric Dahringer (Bretagne) : stages MAFPEN, deux stages de niveau 1 du mercredi 16h au samedi 12 h pour deux fois 25 stagiaires (il a fallu en refuser plus de 40) ; un stage de niveau 2 en novembre et mars. Depuis octobre 88, enseignement d'astronomie en partie adressé aux enseignants à l'Université par J.-Y. Daniel astrophysicien et IPR. Depuis l'été, ouverture du planétarium du Trégor à Pleumeur-Bodou.

Jeanine Chappelet (Nice) : 1) séances du planétarium du collège Valeri (pour 196 élèves de Maternelle, 308 du primaire, 491 du collège, 112 du lycée et 326 de centres de loisirs, soit 1433 élèves provenant de 15 établissements + 17 élèves d'Italie et des stagiaires d'Algérie et des collèges de Nice. 2) Organisation d'une exposcience comprenant 12 projets touchant à l'astronomie. 3) Animations diverses, science dans la ville, "portes ouvertes" au CERGA, bibliothèque d'enfants, un stage organisé par le CPR, etc.

Daniel Toussaint (Aix en Othe) : 1) Une journée d'astronomie en septembre au cours d'une Université d'été académique "la physique au collège". 2) Stage MAFPEN à Troyes du 14 au 16 novembre. 3) Cycle de deux cours par mois à l'Institut Universitaire du Temps Libre, à Troyes.

Christian Dumoulin (Limoges) nous a fait remettre "URANIA n°1, aides à l'observation astronomique" édité par le groupe GRAAL qu'il anime. Au sommaire : liste et carte des constellations, les principaux objets à observer quinzaine par quinzaine, le catalogue des objets célestes par constellation, données sur le Lune et les planètes, enfin bibliographie.

Eric Varanne (Orléans) nous a remis la collection du bulletin trimestriel du groupe AEAAC qu'il anime, "Le Point de Lagrange".

Roger Meunier (Melun) nous a remis le bulletin de la section astronomie de l'ADAC qui touche de 30 à 40 amateurs dans le triangle Melun, Montereau, Fontainebleau.

LES INTERVENTIONS

Daniel Bardin (Marseille). L'Université d'été de Gap organisée par l'équipe de Marseille a groupé 24 stagiaires qui ont été encadrés par deux astronomes et deux enseignants, un jeune suppléant assurant de nombreuses heures d'observation nocturne. Au T 60 du Pic du Midi, DB et son équipe ont poursuivi un travail de spectrographie ainsi qu'un programme de surveillance de variables à longues périodes. Daniel nous montre ensuite de belles photos du rayon vert qu'il a obtenues au Pic.

Jean-Yves Marchal (Strasbourg) est chargé par Agnès Acker, empêchée, de nous rendre compte des activités de l'équipe de Strasbourg. Le planétarium a reçu 30 000 visiteurs depuis 6 ans

dont 70% de scolaires. Des programmes pour les enfants, "en route vers les étoiles", "le robot vers les étoiles", s'efforcent d'être présentés de façon interactive. L'exposition permanente, "la crypte aux étoiles" a été enrichie de nouvelles expériences, en particulier le pendule de Foucault, à l'occasion du 450^{ème} anniversaire de l'Université. Un concours est organisé à l'occasion de la présentation du projet Hipparcos. Pour l'enseignement, des projets sont mis au point en particulier sur "ombres et lumière" (niveau de 4^{ème}) avec la participation de trois Collègues partiellement détachés au planétarium. Agnès Acker assure un cours à l'Université pour lequel il y a 90 inscrits. L'école de Steige a réuni 50 participants dont dix instituteurs ; on y a construit un radiotélescope avec l'aide d'un astronome de Nançay.

Lucienne remercie Daniel et Jean-Yves de leurs communications sur les écoles de Gap et de Steige. Ainsi, cette année, il y a eu trois écoles-universités d'été et comme certains animateurs ont participé à plusieurs d'entre elles, cela fait un très gros travail qui commence à peser lourd. Il paraît donc plus raisonnable qu'à l'avenir il y ait alternance entre l'école organisée par Marseille (ce qui aura lieu en 1989) et par le CLEA-Orsay (elle aura lieu en 1990). Celle de Steige est prévue tous les deux ans, la prochaine donc en 1990. On note d'autre part avec joie qu'un collègue Espagnol ayant participé à l'école de Gap projette de reprendre la même formule en Espagne ; nous ne manquerons pas d'en répercuter l'annonce comme pour toutes les autres écoles-universités d'été.

Andrée Richelme (Grenoble). L'association pour le planétarium et la diffusion de l'astronomie voit son projet prendre forme ; un ensemble scientifique sera créé à Grenoble et il comprendrait ce planétarium ; un groupe de travail a été formé à cette fin par la municipalité. Trois stages ont eu lieu dans le cadre MAFPEN. Nous faisons circuler le stellarium (starlab) auprès de 600 élèves. Nous avons réalisé un montage vidéo sur la radioastronomie (qui est présenté ici).

Henri Reboul (Montpellier) participe à l'enseignement universitaire (2^{ème} et 3^{ème} cycle) ainsi qu'à des options dans certains DEUG (astrophysique en DEUG A, Terre et Univers pour les géophysiciens, formation initiale dans les E.N.). Stages dans le cadre MAFPEN : astrophysique depuis 83, histoire des systèmes du monde depuis 88. Le laboratoire d'astronomie de l'Université a édité pour les enseignants un fascicule de 90 pages qui traite des grands problèmes, de la mesure des distances à la cosmologie.

Solange Grillot (Observatoire de Paris) présente un ensemble de documents édité par l'Observatoire sur "Une mesure révolutionnaire, le mètre". La présentation de ces documents est conçue pour en faciliter l'exposition dans les établissements d'enseignement.

Claude Piguet (Lyon) nous informe de la manifestation Expo Science qui sera présentée les 19 et 20 novembre à Lyon et comprendra de nombreux travaux scolaires, en particulier celui du club astro du lycée St-Exupéry, le Stellotoposcope.

Anne-Marie Louis (région parisienne) nous entretient du projet de gala "science et illusion" qui aura lieu en 89 ; elle ouvre un bref débat sur notre attitude face aux fausses sciences et aux exploitations de la crédulité populaire, débat auquel participe Serrero.

°
°

Ce compte rendu de l'assemblée générale 88 doit faire une place particulière aux contributions des trois collègues qui sont venus d'Allemagne, d'Italie et de Pologne pour participer à nos échanges. Nous les remercions très vivement d'avoir ainsi bien voulu nous faire profiter de leurs expériences.

Le Professeur Roland Szostak enseigne la didactique des sciences physiques à l'Université de Münster (RFA). Il nous présente deux de ses réalisations.

1) Comment expliquer le phénomène des saisons à des jeunes enfants (9 ans) ? Arguer de la plus ou moins grande obliquité des rayons solaires fait appel à des connaissances géométriques qui peuvent dépasser un très jeune auditoire. Au contraire, l'enfant sait bien que le climat change au cours de l'année, il y a des saisons chaudes et d'autres qui ne le sont pas. Donc, montrer les saisons par les changements de température. Il nous montre une sphère (mappemonde) en matière jaune qui, éclairée par une lampe rougit sous le feu de la lampe. Si l'axe autour duquel tourne la mappemonde est oblique mais reste parallèle à lui-même pendant que la mappemonde fait un tour autour de la lampe, on voit varier la zone rougie au cours de l'année. Le matériau de la sphère est un produit $Ag_2 Hg I_4$ qui se trouve dans le commerce.

2) Où sont les étoiles pendant la journée ? Roland Szostak a réalisé un ensemble de transparents qui font apparaître sur l'écran les principales constellations, un cercle mobile pour que n'apparaissent que celles qui sont au-dessus de l'horizon. Des caches permettent de ne faire

apparaître que telle constellation pour montrer ses diverses présentations au cours du mouvement diurne. Enfin, dernier perfectionnement, l'adjonction d'un filtre polarisant permet de montrer l'extinction progressive des étoiles pendant le crépuscule du matin ou leur progressive apparition pendant le crépuscule du soir.

Le Professeur Szostak donne sa préférence à toute présentation qui permet des échanges avec l'auditoire. Ce qui est tout à fait possible dans les deux manipulations précédentes alors que c'est beaucoup plus difficilement réalisable dans une séance de planétarium.

Nicoletta Lanciano (Rome) poursuit son travail d'initiation à l'astronomie dans un cadre écologique. Elle nous avait déjà entretenu des "classes vertes". Cette fois, elle montre que, même en ville, des véritables travaux pratiques sont possibles à partir des terrasses d'une école de Rome : repérage d'une direction, évaluation de la hauteur du Soleil avec la main tendue, dessiner l'horizon et y repérer selon les jours la position du Soleil couchant, etc. Il faut aussi "faire sortir les mythes du béton" ; en ville, il y a des cadrans solaires, des monuments qui témoignent ou expriment certaines connaissances astronomiques, les découvrir, les analyser... Il y a beaucoup à faire dans ce domaine.

Cecilia Ivaniszewska (Torun, Pologne) a présidé la commission enseignement de l'Union Astronomique Internationale et, à ce titre, la conférence qui s'est tenue cet été à Williamstown près de Baltimore (USA). Il nous a paru préférable de reproduire son exposé en dehors de ce forcément laconique compte rendu.

° °
°

L'assemblée générale du CLEA donne, comme de coutume, la parole à un astronome pour une conférence scientifique. Le secrétaire était particulièrement heureux de donner la parole, cette année à Lucienne Gouguenheim pour nous parler d'une "nouvelle classe de galaxies superlumineuses dans l'infrarouge". On aura lu sa conférence en tête de ce numéro. Mais, lors de notre assemblée, c'était une bonne occasion, non seulement de nous instruire à bonne source mais aussi de témoigner notre reconnaissance et notre amitié à notre Présidente. Car nous savons comment, depuis 1976, elle a su animer le CLEA, ses stages, ses Universités d'été, toutes tâches venant en plus de celles de son enseignement et de ses recherches.

° °
°

Au cours de la journée, la pause du déjeuner a permis d'apprécier une nouvelle fois la talents gastronomiques de Béatrice Sandré qui, empêchée cette année d'être présente parmi nous, avait néanmoins préparé l'essentiel de nos repas. Merci à tous les collègues qui ont fait le service. La pause permet aussi les échanges entre participants. Ceux-ci ont également apprécié les documents de la SAF, de l'Observatoire de Paris et du CLEA. N'oublions pas le thé, en clôture, avec dégustation des gâteaux offerts par Cecilia.

75 votants ont enfin élu ou réélu pour 1989 les 40 membres du Conseil du CLEA : Agnès Acker (Strasbourg), Daniel Bardin (Marseille), Lucette Bottinelli (Meudon), André Brahic (Meudon) Jean Chapelle (Clermont-Ferrand), Frédéric Dahringer (Quimperlé), Alain Dargencourt (Crécy sur Serre), Françoise Delmas (Paris), Christian Dumoulin (Limoges), Marie-France Duval (Marseille) Jean-Luc Fouquet (La Flotte), Jean Gagnier (Rochefort), Michèle Gerbaldi (Paris), Hubert Gié (Paris), Lucienne Gouguenheim (Meudon), Raymond Hernandez (Auxerre), Jean-Claude Herpin (Versailles), Jean-Louis Heudier (Nice), Maryse Faydi (Cahors), François Joly (Talence), Francis Minot (Rethel), Christian Mossler (Douai), Georges Paturel (St Genis Laval), Jean-Claude Pecker (Paris), Henri Reboul (Montpellier), Andrée Richelme (Grenoble), Jean Ripert (Solliès), Alain Rivière (Chatillon), Jean-Paul Rosenstiehl (Le Mans), Béatrice Sandré (Bures sur Yvette), Nicole Sanglerat (Boulogne), Liliane Sarrazin (Limoges), Evry Schatzman (Meudon), Françoise Suagher (Besançon), Daniel Toussaint (Aix en Othe), Victor Tryoen (Flayosc), René Vento (Les Pennes Mirabeau), Jacques Vialle (La Rochelle), Catherine Vignon (Paris), Gilbert Walusinski (Saint-Cloud).

N.-B. Au cours de l'assemblée, notre collègue Roger Marical a bien voulu accepter la charge de délégué du CLEA pour l'académie de Rouen où, jusqu'ici, nous n'avions pas de correspondant.

EN SUIVANT LA LUNE ...

1. En suivant le Soleil

Imaginons un monde où le plan de l'équateur serait le même que le plan de la trajectoire de la Terre autour du Soleil. Le Soleil resterait toute l'année dans le plan de l'équateur et chaque jour sa trajectoire apparente serait la même, celle du 21 mars et du 23 septembre, équinoxes. Il n'y aurait pas de saisons. Imaginons maintenant que la Terre fasse, de plus, un tour sur elle-même pendant qu'elle fait son tour annuel autour du Soleil. Nous verrions alors le Soleil fixe dans le ciel. On définirait l'année par la position des étoiles.

Imaginons maintenant que la Terre fasse un tour sur elle-même en un an mais que l'équateur soit comme dans la réalité incliné de $23^{\circ},5$ sur le plan de son orbite autour du Soleil. Que verrions-nous ? De façon évidente, le Soleil ne serait plus fixe. Il monterait à $23^{\circ},5$ au-dessus de l'équateur et descendrait au bout d'un demi-tour à $23^{\circ},5$ au-dessous. Nous allons montrer qu'il décrirait une courbe en forme de 8. Si l'orbite de la Terre était un cercle, ce 8 serait bien symétrique comme sur la figure 1.a ; mais l'orbite de la Terre est une ellipse, les deux boucles seraient de ce fait de tailles très différentes (figure 1.b).

Un Américain, Dennis di Cicco a réussi à photographier cette courbe du Soleil entre le 27 février 1978 et le 17 février 1979 (figure 1.c). Comment a-t-il fait, puisque la Terre ne tourne pas sur elle-même en un an ? Tous les jours à la même heure, au bout de 24 h exactement, nous retrouvons la position que la Terre aurait si elle faisait un tour sur elle-même en un an. En effet, au bout de 365,26 jours solaires, les constellations se retrouvent exactement dans la même position par rapport à la Terre. La Terre a fait 366,26 tours sur elle-même. La fréquence solaire apparente est égale à la fréquence de rotation de la Terre moins la fréquence de révolution de la Terre autour du Soleil ; on peut aussi le dire en termes de vitesse angulaire $\omega = 2\pi \cdot (\text{fréquence})$ ou d'angles (ωt) :

$N(\text{Soleil}) = N(\text{rotation de la Terre}) - N(\text{révolution de la Terre})$

$$\frac{1}{\text{jour solaire}} = \frac{1}{\text{jour sidéral}} - \frac{1}{\text{année}}$$

Dennis di Cicco a photographié le Soleil tous les 10 jours, exactement à la même heure, 8h30 (temps local USA-Est). Il a obtenu la photo 1.c où les dates sont figurées.

Cette courbe en forme de 8 était déjà connue dans certains types de cadrans solaires mais ne semblait jusqu'alors qu'une représentation

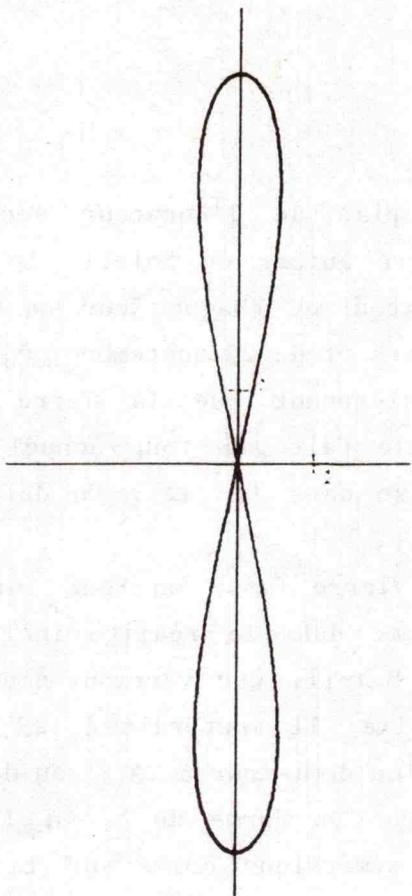


figure 1-a

Si l'orbite de la Terre était un cercle, l'analemma du Soleil serait symétrique.

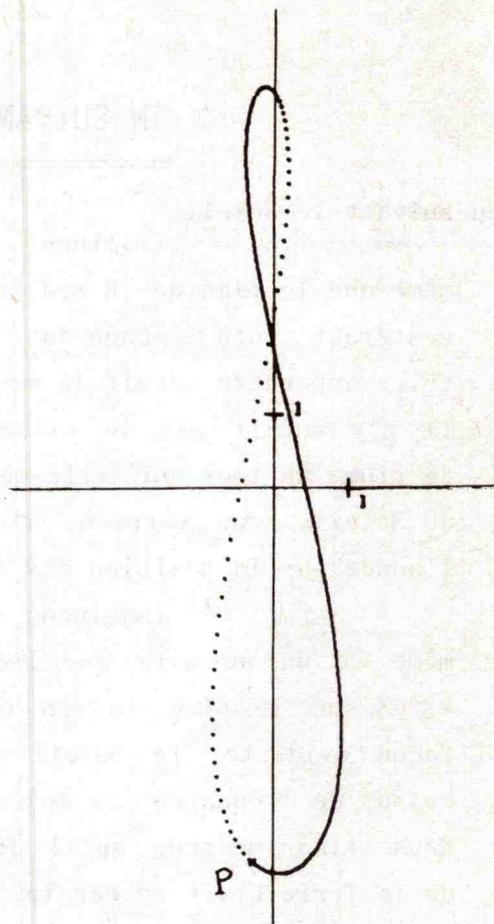


figure 1-b

Analemma tracé à l'ordinateur: en P, la Terre est au périhélie.

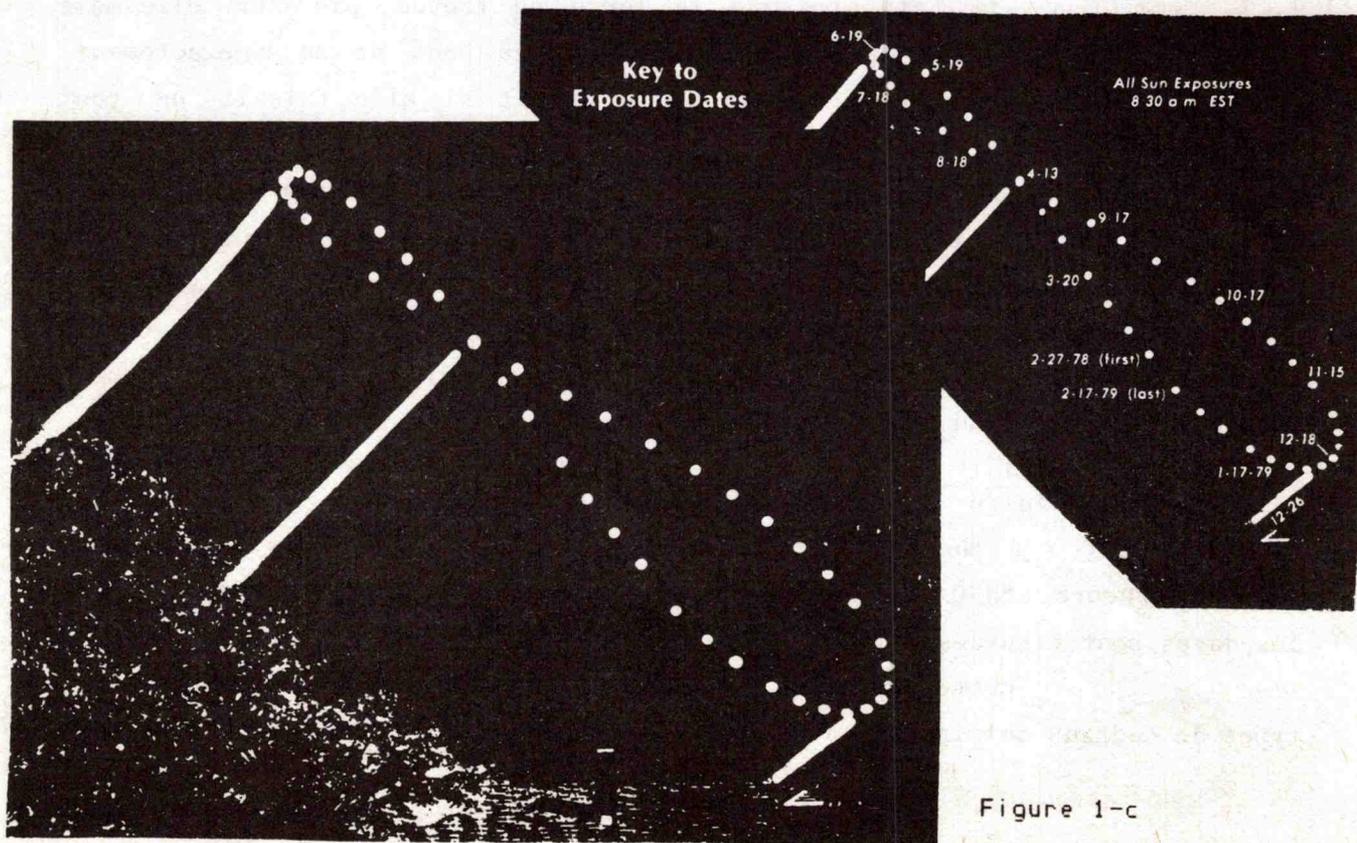


Figure 1-c

Analemma photographié en 1978-79 par Dennis di Cicco.

de l'équation du temps (différence entre le midi solaire vrai et le midi solaire moyen tout au long de l'année). Arriver à la même position sur la courbe, un an plus tard, prouve que le jour solaire vaut 24 h avec une précision meilleure que 0,2 seconde. Une erreur de 0,2 seconde par jour, deviendrait 365 fois plus grande après un an soit 72 secondes ; une erreur d'une minute serait visible entre le premier et le dernier soleil. Cette photo spectaculaire de l'analemme du Soleil serait "réellement" le mouvement apparent du Soleil si la Terre tournait sur elle même en un an au lieu de 23 heures 56 minutes.

2. Observer la Lune "un jour lunaire" moyen plus tard

Chaque jour, en tournant avec la Terre, nous dépassons aussi la Lune qui tourne autour de nous dans le même sens en 27,32 jours. Si la période de rotation de la Terre sur elle-même était de 27,32 jours, quel mouvement apparent observeriez-vous pour la Lune ? Vous verriez une sorte d'analemme car l'orbite de la Lune est inclinée sur l'équateur terrestre, l'angle d'inclinaison varie entre 18°,5 et 28°,5. Pour prendre en photo cet "analemme", le temps entre deux prises de vue doit être "un jour lunaire" moyen, environ 24h 50 min. Comme nous l'avons vu pour le Soleil, nous pouvons calculer la fréquence apparente, inverse du "jour lunaire" : $N(\text{Lune}) = N(\text{rotation de la Terre}) - N(\text{révolution de la Lune})$ soit
$$\frac{1}{\text{jour lunaire}} = \frac{1}{\text{jour sidéral}} - \frac{1}{\text{mois sidéral}}$$

Figures 2.a, 2.b et 2.c

Figure 2.a : la Lune en mai 1987

Nous avons photographié la Lune chaque "jour lunaire" pendant qu'elle "descendait". A la déclinaison 0°, nous voyons l'axe polaire de la Terre (perpendiculaire à l'équateur) incliné vers la droite de l'écliptique comme le représentent les géographes. Le mouvement réel de la Lune a été obtenu en prenant chaque photo 4 minutes plus tôt que la veille soit un jour sidéral entre deux photos. C'est, à 5° près, le plan de l'écliptique. A la déclinaison 0°, la Lune a été photographiée toutes les deux minutes (pour donner l'échelle en temps 1/125s). Au minimum de déclinaison, nous avons effectué une pose de deux fois 5 minutes. La deuxième fois, un filtre polarisant a été ajouté. Le cercle de l'équateur est vu comme une droite car la Terre (donc l'observateur) se trouve dans le plan de ce grand cercle de la sphère céleste. Il en est de même pour l'écliptique.

Figure 2.b : la Lune en juin 1987

La Lune a été photographiée toutes les 24h 50min 15s pendant qu'elle "remontait" après le minimum de déclinaison à -28°,5. A 0°, nous remarquons que l'axe polaire de la Terre est incliné sur la "gauche" de l'écliptique. Quand la Lune a fait un demi-tour et se retrouve à nouveau à la déclinaison 0°, son orbite recoupe le plan de l'équateur, on regarde

de "l'autre côté" du plan de l'écliptique. A la déclinaison -28° , une photo en pose de la Lune donne une trainée coupée en deux par le passage d'un nuage. Le Soleil a été pris le 12 juin à la déclinaison $+23^{\circ}$, toutes les 20 minutes (1/2000 ème de seconde, filtre de densité neutre 0,95).

Figure 2.c : la Lune en septembre 1987

La Lune a été photographiée toutes les 24h 50min 24s, pendant qu'elle "montait" puis commençait à "redescendre". A la déclinaison $0^{\circ},5$, des photos toutes les deux minutes indiquent l'équateur. Cette nuit-là, le brouillard a rendu les photos floues. Sur la petite boucle, quatre photos manquent à cause du brouillard. Trois photos de Jupiter (l'une est juste au-dessus des reflets de l'image du Soleil dus au filtre) montrent que le plan de la photo tourne d'un mouvement uniforme autour de l'axe polaire avec une période d'environ 28 jours. L'échelle des temps est donnée par la distance entre les deux images du Soleil (à la déclinaison $1^{\circ},5$ le 20 septembre) prises à 7h 58min (deuxième soleil, le premier n'est pas visible) et à 11h 28min (4 ème et dernier soleil). En trois jours, on peut considérer Jupiter comme un point fixe.

Figure 2-a

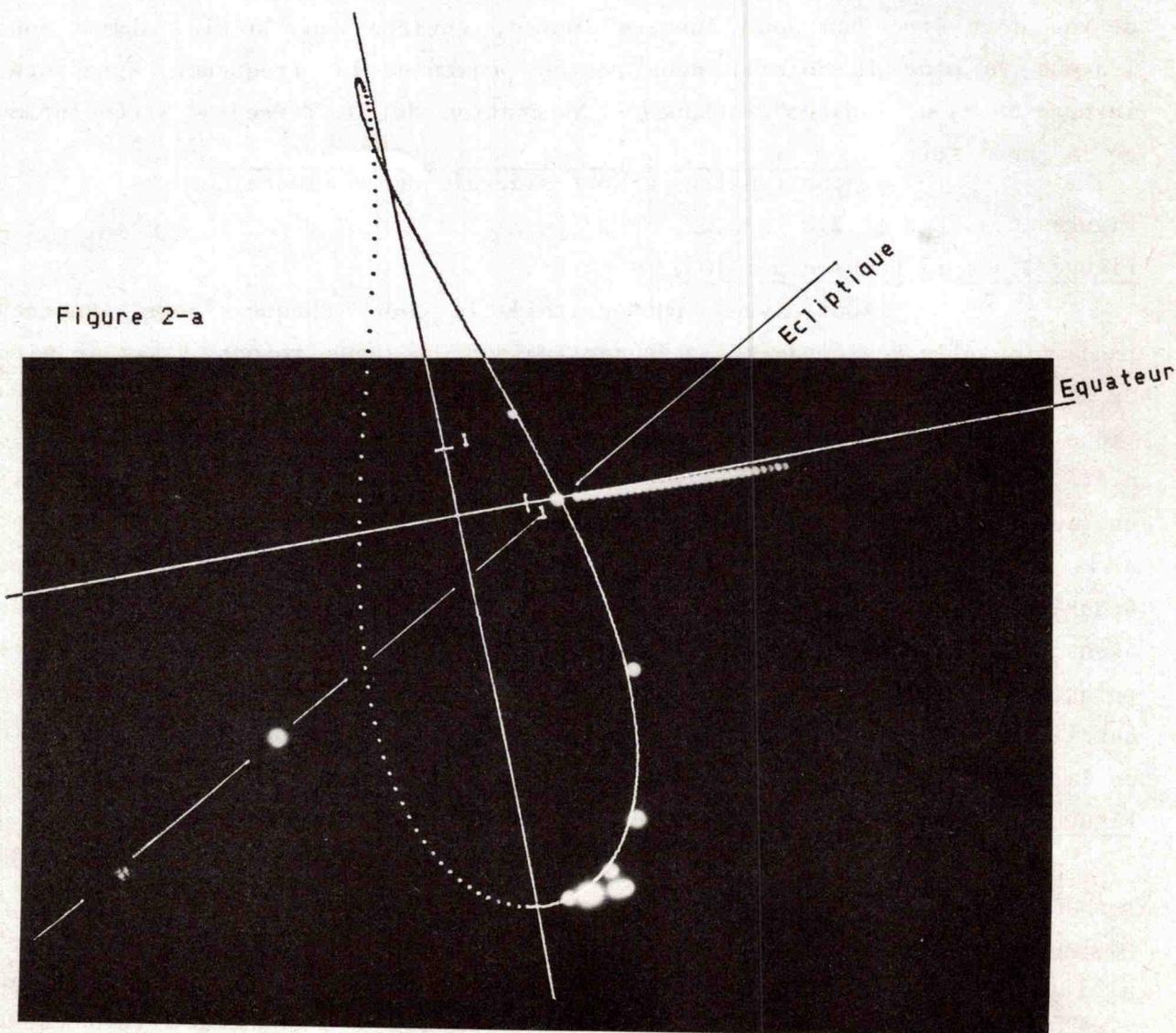


Figure 2-b

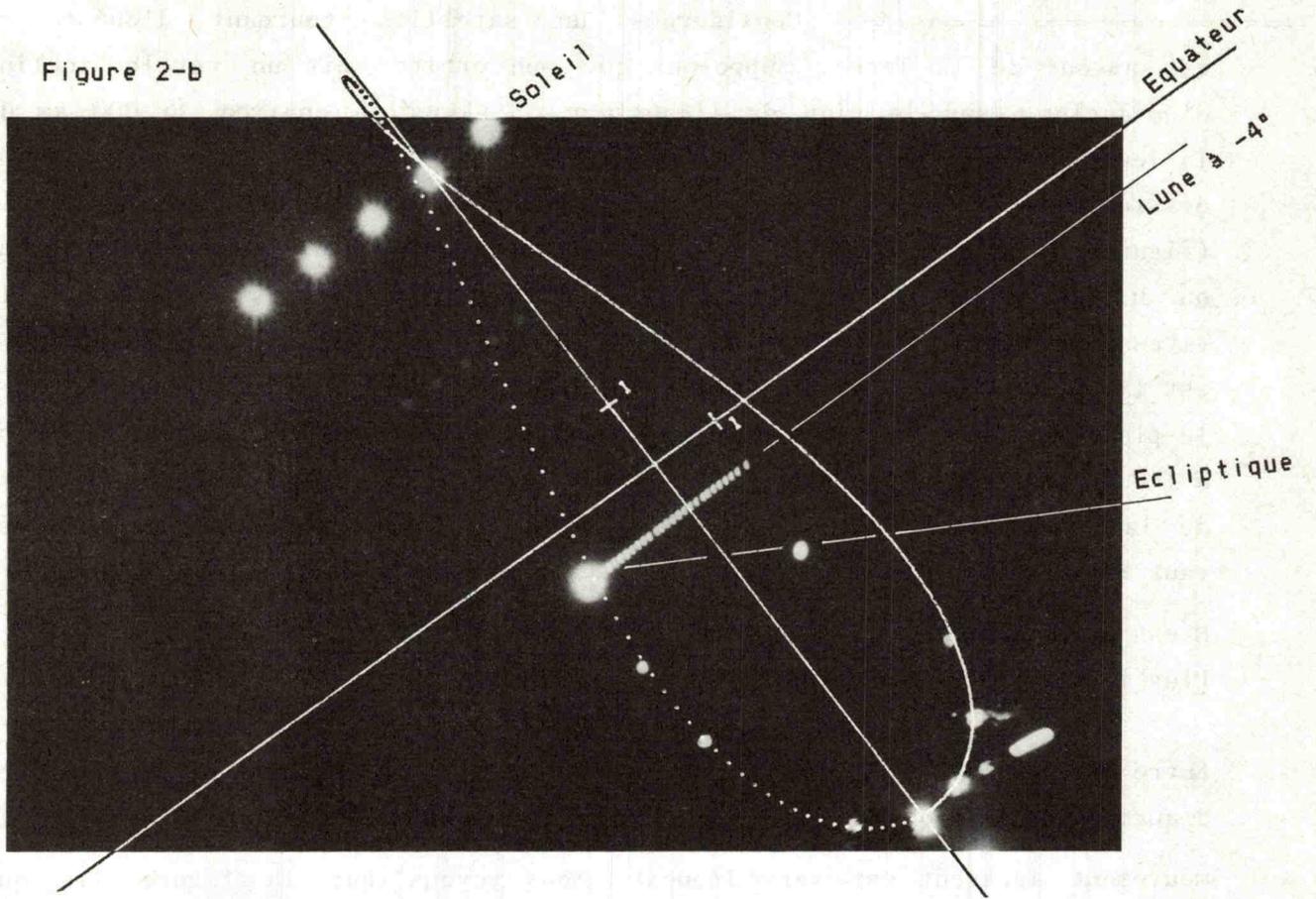
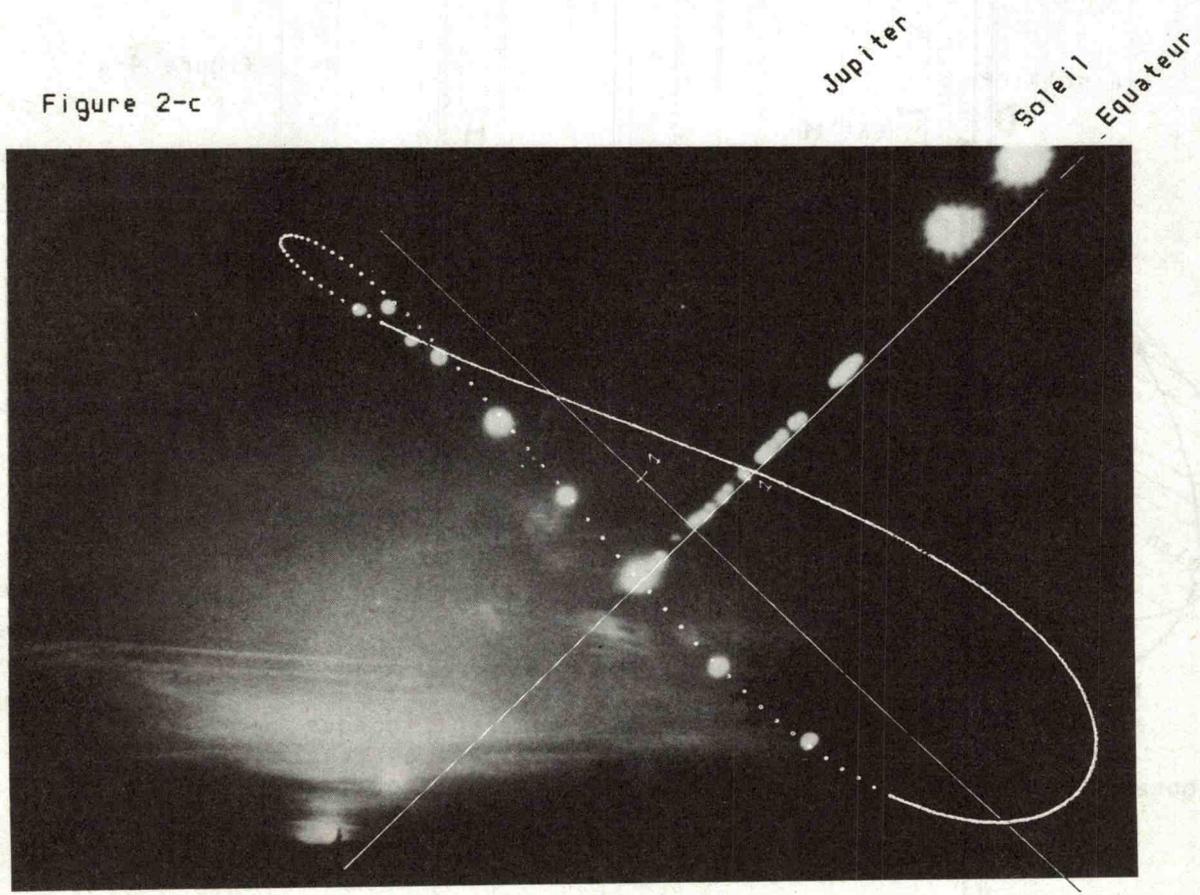


Figure 2-c



3. L'"analemme" d'un satellite

Considérons un satellite tournant d'ouest en est autour de la Terre. Supposons que son orbite soit un cercle incliné d'un angle i sur le plan de l'équateur. S'il est à environ 36 000 km de la Terre, sa période sera celle de la Terre, 23h 56min. Son mouvement apparent dessine un 8 et les deux boucles sont symétriques si l'orbite est un cercle (figures 3 et 4). Lorsque le satellite est en M ou M' (près du maximum ou du minimum de déclinaison (fig 3 et 4a), nous pouvons montrer que la vitesse apparente est vers l'est. R est le rayon de l'orbite, $\Omega(\text{sat})=V(\text{sat})/R$ est la vitesse angulaire du satellite dans son plan ; i est l'angle entre le plan de l'orbite et le plan de l'équateur. Dans le référentiel \mathcal{R} tournant à la vitesse angulaire $\Omega(\text{sat})$ (qui est ici la vitesse réelle de rotation de la Terre) autour de l'axe polaire D, la vitesse apparente vers l'est vaut :

$$\vec{v}(\text{sat}) - \vec{v}_{\mathcal{R}}(\dot{M}) \quad (\text{fig 4.a})$$

M est à la distance $d = R \cos i$ de l'axe polaire donc $V_{\mathcal{R}}(M) = d.V(\text{sat})/R$
Plus i est grand, plus la vitesse apparente vers l'est est grande.

$$(1 - d/R) V(\text{sat}) = (1 - \cos i) V(\text{sat})$$

Entre M et M', la composante de la vitesse vers l'est diminue et la distance d augmente. En P et P', (fig 3 et 4.b), $d=R$. Dans le référentiel \mathcal{R} , le mouvement apparent est vers l'ouest. Nous voyons sur la figure 4.b que $i/2$ est l'angle entre la vitesse apparente en P et l'axe polaire. Donc on retrouvera l'angle i entre les vecteurs vitesses à la déclinaison 0° .

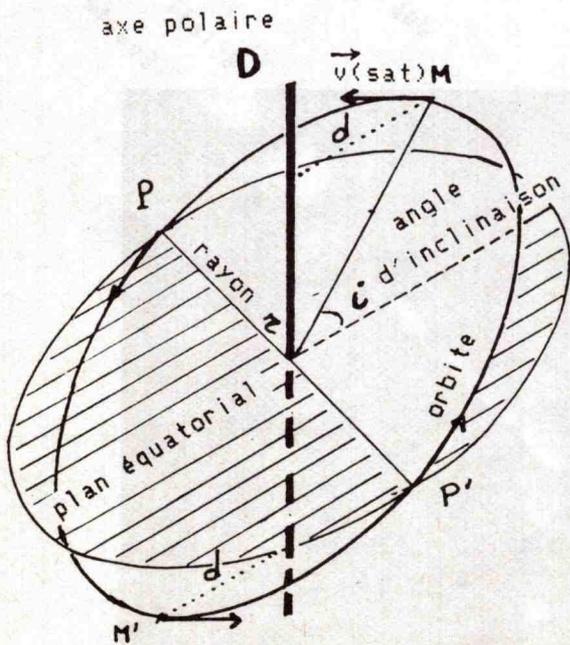


figure 3

Mouvement apparent lorsque le mouvement réel est un cercle incliné de i sur l'équateur.

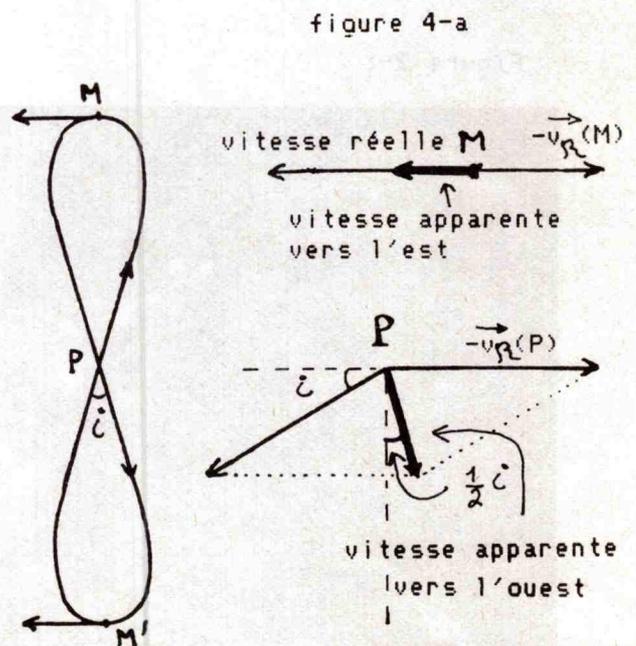


figure 4-a

figure 4-b

4. "L'analemmes" de la Lune

L'orbite de la Lune est une ellipse, la Terre étant l'un des foyers. Nous supposons que le grand axe de l'ellipse est confondu avec la droite de plus grande pente par rapport à l'équateur (la déclinaison est minimum pour le périégée). Pour une ellipse, le mouvement suit la loi des aires (deuxième loi de Kepler). La vitesse est plus grande au périégée que la vitesse moyenne donc la boucle devient plus grande. L'autre boucle devient plus petite car la vitesse de la Lune à l'apogée est plus petite que la vitesse moyenne. A la déclinaison 0° nous trouvons encore l'angle d'inclinaison i entre les tangentes à la courbe parce que à mi-chemin entre le périégée et l'apogée la vitesse est pratiquement égale à la vitesse moyenne si $e \ll 1$. En avril 1987, le périégée était presque au minimum de déclinaison, la courbe était symétrique (figure 5.a). L'inclinaison i joue un rôle important dans la forme de la courbe : l'effet d'excentricité est d'autant plus grand que l'inclinaison est faible. Figure 5, nous comparons pour une même excentricité, la Lune vue de la Terre ($i=28^\circ,5$) à la Terre vue de la Lune ($i=7^\circ$).

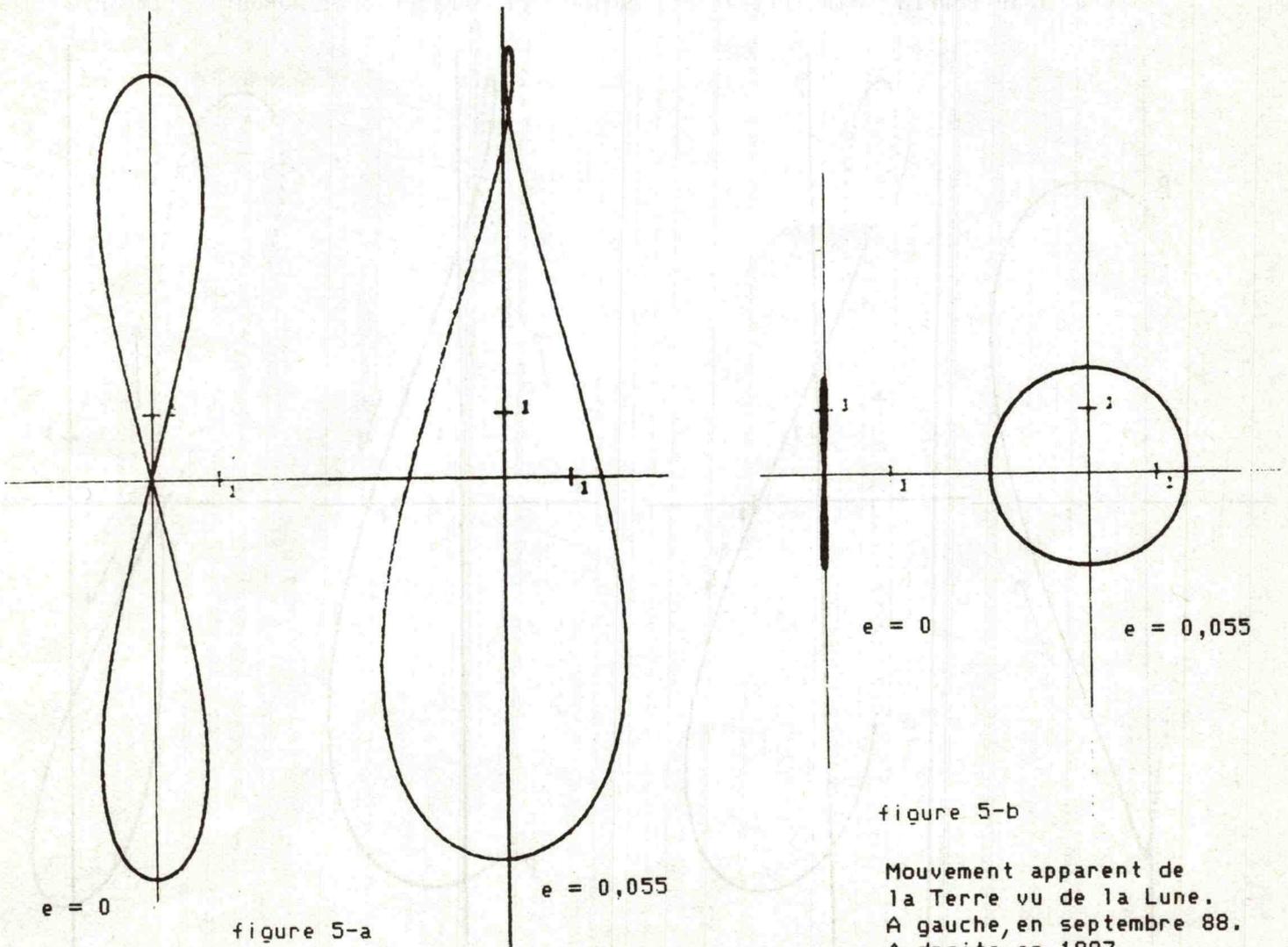


figure 5-a

figure 5-b

Mouvement apparent de la Lune vu de la Terre, si la Terre faisait un tour sur elle-même en 27,32 jours.
A gauche: si l'orbite était un cercle
A droite: en avril 1987

Mouvement apparent de la Terre vu de la Lune.
A gauche, en septembre 88.
A droite, en 1987

5. Quelle est l'évolution de la courbe lorsque le plan de l'orbite de la Lune tourne et lorsque le périégée tourne dans le plan de l'orbite ?

Lorsque le plan de l'orbite tourne avec une période de 18,6 ans (rétrogradation des noeuds lunaires qui sont les intersections de l'orbite avec le plan de l'écliptique), la déclinaison extrême de la Lune varie entre $18^{\circ},5$ et $28^{\circ},5$ (l'angle i). En 1987 la déclinaison extrême est voisine de $28^{\circ},5$, la petite boucle est visible. En janvier 1983 la déclinaison était $23^{\circ},6$ et la petite boucle était trop petite pour être visible.

Lorsque le périégée tourne dans le plan de l'orbite, la courbe en forme de 8 perd de la symétrie et les dimensions relatives des deux boucles changent. En 1987 le périégée est voisin de la déclinaison minimale comme c'est le cas pour le Soleil. La petite boucle est en haut. Lorsque le grand axe de l'ellipse est dans le plan équatorial, l'excentricité de l'ellipse n'est plus visible. Les deux boucles ont la même taille comme pour l'orbite circulaire. Nous montrons l'évolution de la courbe entre janvier 83 et décembre 88. Le logiciel utilisé a été réalisé par Paul Moutte (lycée Jean-Perrin, Marseille) et permet de tracer rapidement n'importe

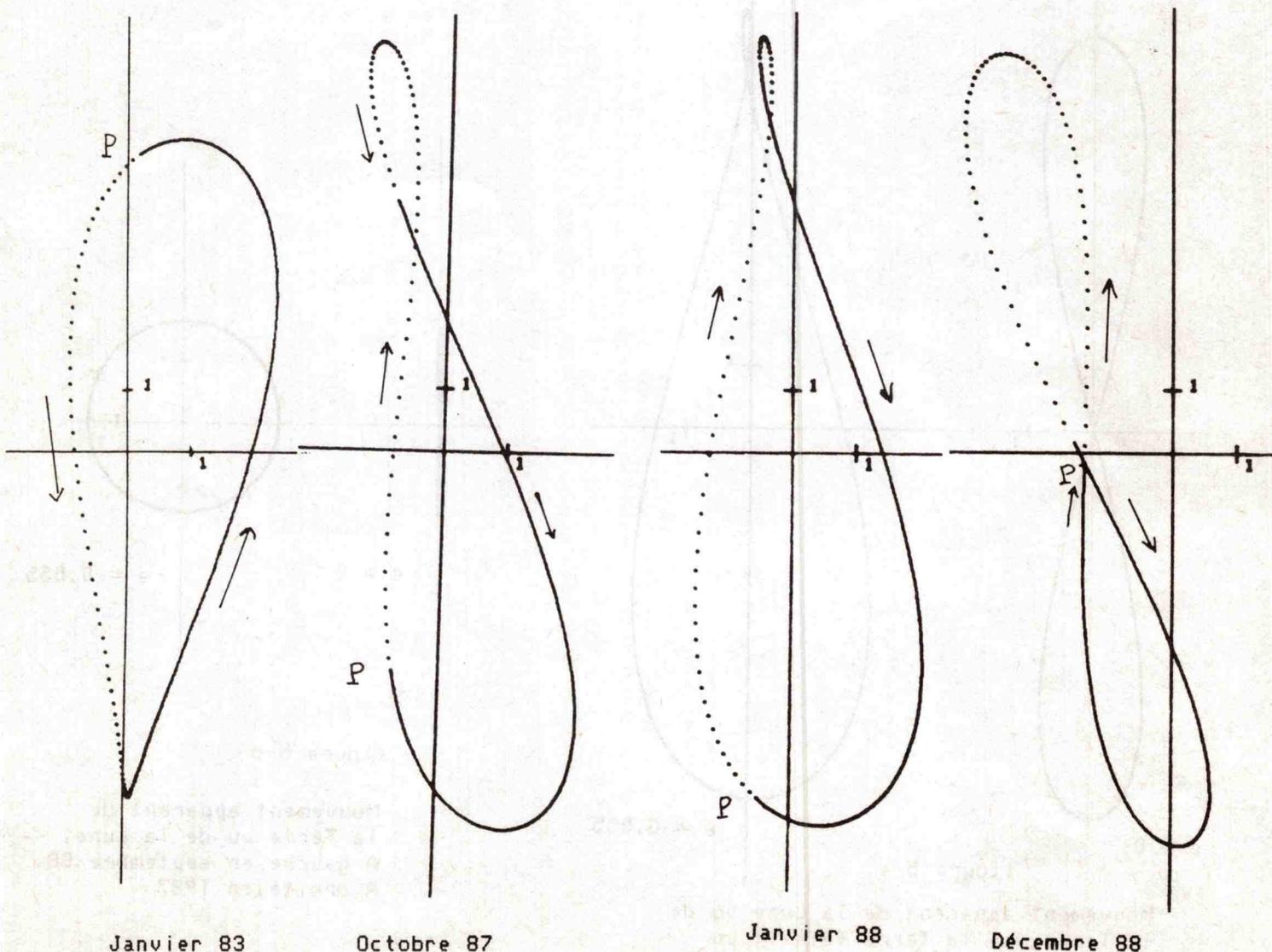


Figure 6: "Analemmes" de la Lune, si la Lune était notre Soleil. En P, la Lune est au périégée.

quelle courbe. Les équations sont expliquées en annexe (fig 6).

6. Quand on est sur la Lune, la courbe en forme de 8 devient le mouvement apparent "réel" de la Terre (figure 5.b)

La Lune tourne sur elle-même en 27,32 jours.
Ainsi sa vitesse angulaire est la vitesse moyenne apparente de la Terre et le mouvement apparent de la Terre est une petite courbe en forme de 8. L'orbite est inclinée de 6°,7 sur le plan de l'équateur de la Lune donc la hauteur de la courbe ne sera que de 13°,4. La petite boucle n'est plus visible dès que le périégée s'éloigne du plan de l'équateur de la Lune. L'effet d'excentricité est très important.

Lorsque le périégée est dans le plan de l'équateur, l'effet d'excentricité n'est pas visible. Les deux boucles sont symétriques.

Il y a d'autres satellites de planètes ayant même période de rotation et de révolution.

7. Relation entre l'excentricité de l'orbite et les deux boucles

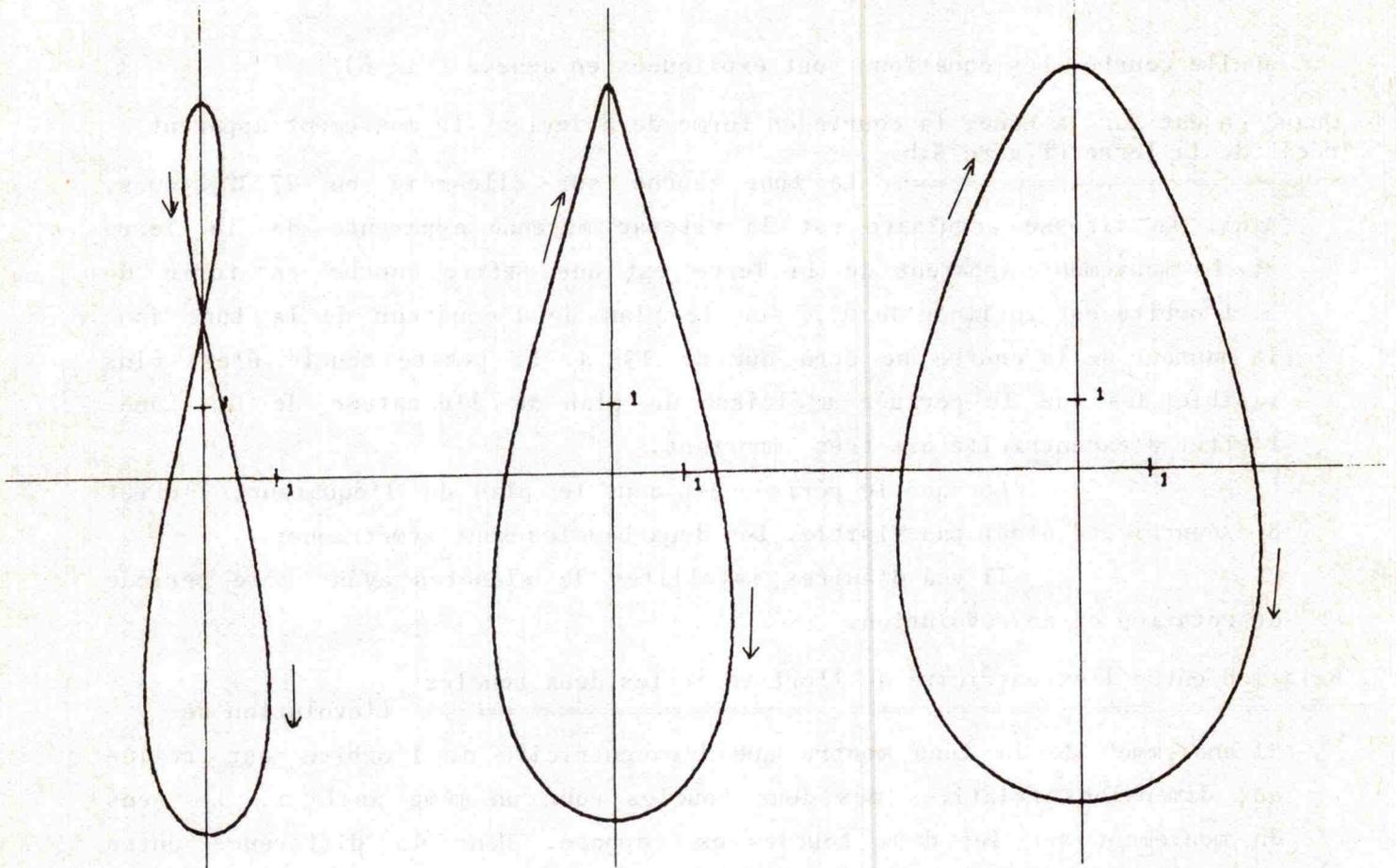
L'évolution de
"l'analemme" de la Lune montre que l'excentricité de l'orbite est reliée aux dimensions relatives des deux boucles pour un même angle i . Le sens du mouvement sur les deux boucles est opposé. Donc la différence entre l'aire de la grande boucle et celle de la petite boucle est l'aire algébrique de la courbe. Si l'orbite est un cercle, cette aire algébrique est nulle. Lorsque l'orbite est une ellipse, cette aire algébrique est proportionnelle à e , si e est petit devant i (figure 7). Nous comparons l'excentricité des orbites de la Terre, de la Lune et de Mars. Nous comparons l'aire algébrique S des courbes pour $i=23°,5$. Nous supposons le périégée au minimum de déclinaison pour les trois valeurs de e : $e(\text{Terre})=0,017$ $e(\text{Lune})=0,055$ $e(\text{Mars})=0,093$
Nous trouvons sur la figure 7 : $S(\text{Terre})=7,17 \text{ cm}^2$; $S(\text{Lune})=22,90$; $S(\text{Mars})=39,30$
D'où $S/e = 4,2 \times 10^2$ dans les trois cas, valeur qui dépend évidemment de l'échelle de la courbe.

Soient r et θ les coordonnées polaires, T la période et a le rayon du cercle ou le demi grand axe de l'ellipse. La propriété vient du fait que, pour un cercle l'aire élémentaire est $\frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt} = \pi \frac{a^2}{T}$ tandis que pour une ellipse cette aire est $\frac{\pi a^2}{T} (1-e)$

Nous pouvons aussi tracer l'analemme du Soleil vu de Mars et comparer les équations du temps sur la Terre et sur Mars.

Annexe : Ecriture des équations de l'analemme

paramétrons l'ellipse dans le plan
de la trajectoire (figure 10). Définissons le paramètre u . O est le centre de l'ellipse, A_1 le foyer Terre. Nous traçons le cercle de centre O et de rayon a , a est le demi-grand axe de l'ellipse. Nous supposons qu'à l'instant $t=0$ la Lune est en P_1 le périégée (angle polaire $\theta=0$). A l'instant t la Lune est au point S . Les coordonnées polaires sont $r=OS$ et l'angle $\theta=(P_1 A_1 S)$. De S nous traçons la perpendiculaire à OA ; elle coupe la circon-



Terre: $e = 0,017$

Lune: $e = 0,055$

Mars: $e = 0,093$

Figure 7: Comparaison de l'excentricité des trois orbites en prenant la même valeur $i = 23,5^\circ$. La surface algébrique de la courbe est proportionnelle à e .

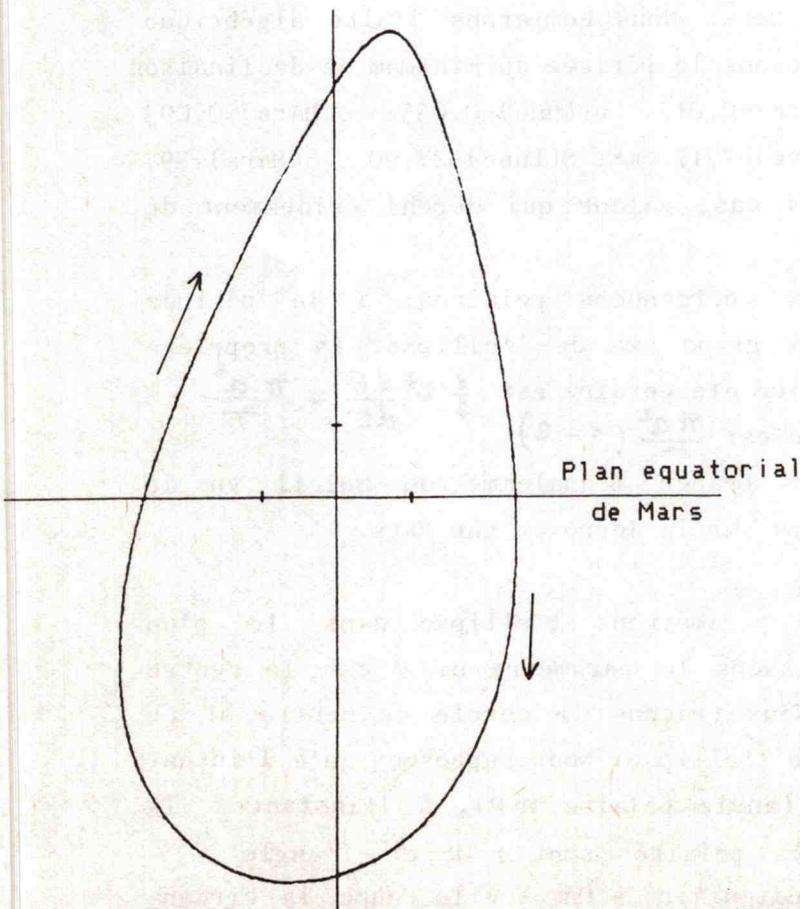


Figure 8: Analemme du Soleil, vu de Mars: $e = 0,093$, $i = 25,2^\circ$, l'angle entre le périhélie et le minimum de déclinaison est $-15,8^\circ$. Sur Mars, le périhélie est un mois avant le minimum de déclinaison.

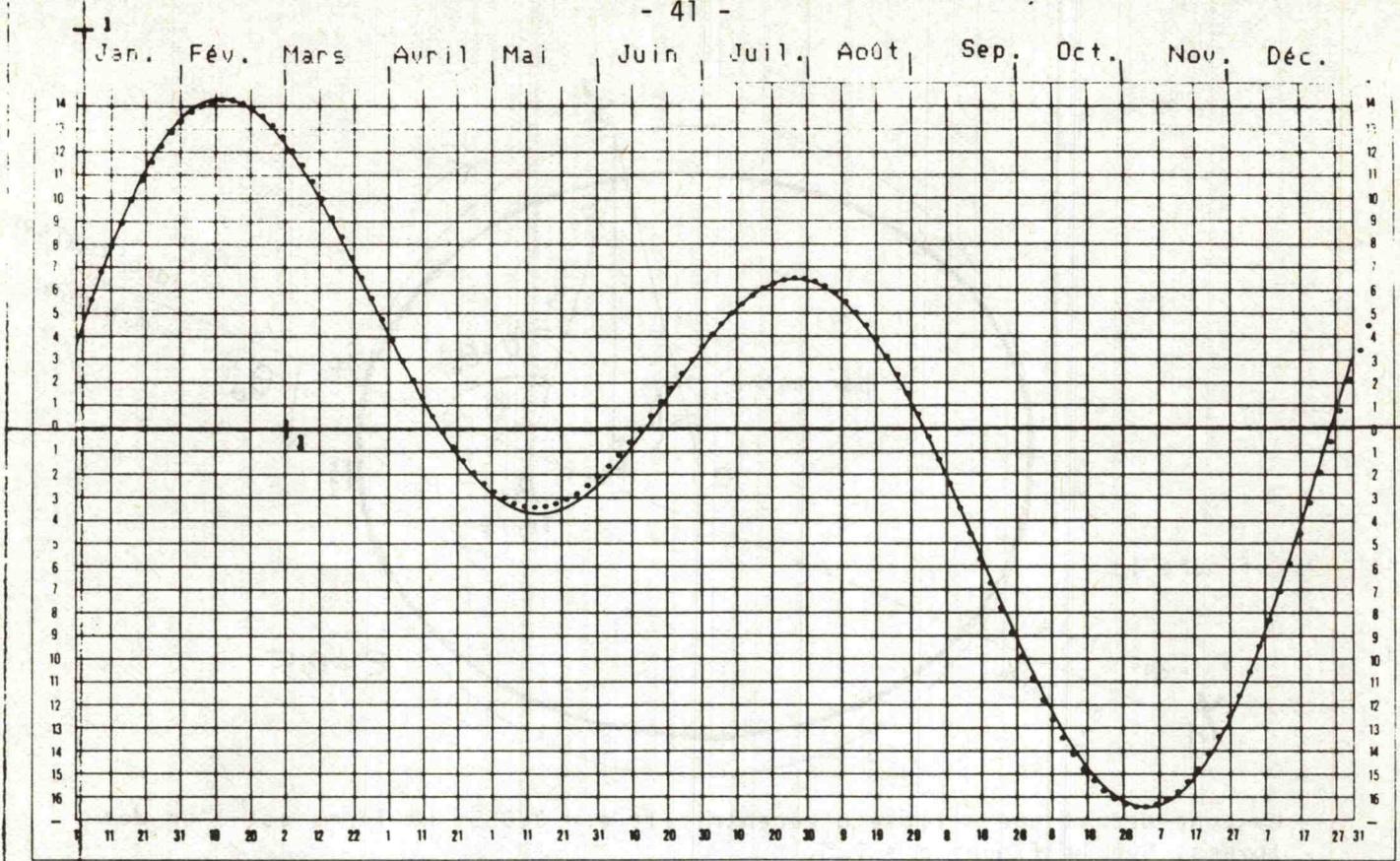


Figure 9-a Equation du temps tracée à l'ordinateur comparée à la courbe donnée par le Bureau des Longitudes. Temps solaire moyen moins temps solaire vrai.

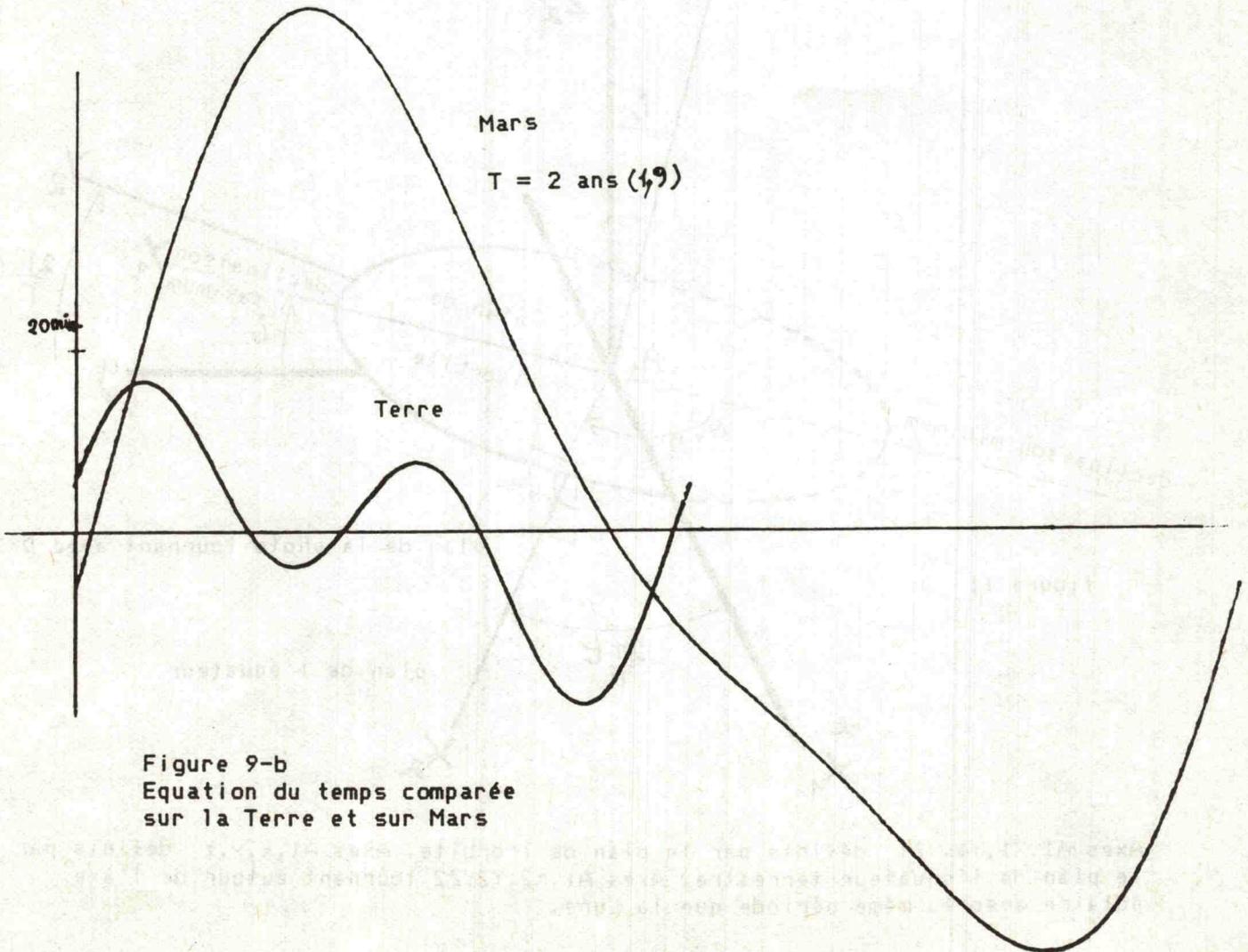


Figure 9-b Equation du temps comparée sur la Terre et sur Mars

férence en S'. L'angle $u = (A_1OS')$ est le paramètre qui varie de 0 à 2π .
 Nous supposons que la déclinaison de la Lune est minimum en S_0 ; θ_0 est l'angle $(S_0A_1P_1)$ entre le minimum de déclinaison et le périégée. (t_0) est le temps mis par la Lune pour aller de S_0 à P_1 (négatif sur la figure). e est l'excentricité de l'ellipse :

$$r = a(1 - e \cos u) ; 2\pi t/T = u - e \sin u ; \cos \theta = a(\cos u - e)/r$$

A_1X_1, A_1Y_1 sont dans le plan de l'orbite et A_1Z_1 est perpendiculaire à ce plan.

$$X_1 = r \sin(\theta + \theta_0) \qquad Y_1 = -r \cos(\theta + \theta_0)$$

Figure 11. On tourne d'un angle $(-i)$ autour de A_1X_1 pour écrire les équations dans le système d'axes (A_1, x, y, z) . Les axes A_1x et A_1y sont dans le plan équatorial et A_1z est l'axe polaire de la Terre. Ensuite on tourne d'un angle $2\pi(t+t_0)/T$ autour de l'axe polaire pour être dans le référentiel (A_1, X_2, Y_2, Z_2) qui suit la Lune. L'observateur regarde dans la direction A_1X_2 donc l'axe A_1Y_2 est à sa gauche. Les équations de la photographie sont dans le plan perpendiculaire à A_1X_2 c'est à dire (A_1Y_2, A_1Z_2) . Nous obtenons :

$$Y_2 = -r \cos \frac{2\pi}{T} (t+t_0) \sin(\theta+\theta_0) + r \cos i \sin \frac{2\pi}{T} (t+t_0) \cos(\theta+\theta_0)$$

$$Z_2 = -r \sin i \cos(\theta+\theta_0)$$

L'axe A_1Y_2 est dans le plan de l'équateur donc peut être photographié quand la déclinaison est 0° .

Pour le Soleil, la courbe $(-Y_2) = f(t)$ représente l'équation du temps.

Matrices rotation pour les changements d'axes :

rotation $(-i)$
 autour de A_1x
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & -\sin i \\ 0 & \sin i & \cos i \end{pmatrix}$$

rotation d'un angle $\varphi = 2\pi(t+t_0)/T$ autour de A_1z

$$\begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Irène Tiraspolsky

Valeurs de $i, \theta_0, t_0/T$ données par les Ephémérides

	i	$\theta_0/2$	t_0/T
Soleil $e = 0,017$	$23^\circ,45''$	0,037	0,037
Lune $e = 0,055$			
janvier 83	$23^\circ 6''$	0,55	0,56
avril 87	$28^\circ,6$	-0,0085	-0,0085
juin 87	$28^\circ,4$	0,016	0,016
septembre 87	$28^\circ,7$	0,15	0,15
janvier 88	$28^\circ,4$	0,06	0,06
décembre 88	$28^\circ,1$	0,24	0,23
Mars $e = 0,093$	25°	0,044	0,044

LES POTINS DE LA VOIE LA VOIE LACTEE

L'OBSERVATION EN INFRAROUGE REVELE LA GENESE D'UNE GALAXIE A ANNEAU

La très grande majorité des galaxies peuvent être classées en elliptiques, spirales ou irrégulières selon la célèbre séquence de Hubble établie il y a plus de 60 ans, mais un petit pourcentage présentent des perturbations, déformations et interactions importantes échappant à cette classification. Ces galaxies sont dites "particulières" et ont été inventoriées dans divers catalogues et atlas photographiques réalisés essentiellement par F.Zwicky, B.A. Vorontsov-Velyaminov, H.Arp et B.M. Madore. Parmi ces galaxies une catégorie particulièrement curieuse est constituée de "galaxie à anneau" dont la structure ne comporte pas de concentration centrale analogue par exemple au noyau d'une galaxie spirale mais un anneau ovale avec le plus souvent un noyau décentré et un compagnon proche. La galaxie Arp 144 (aussi VV 272 dans le catalogue de Vorontsov-Velyaminov et aussi NGC 7828/7829) est un exemple classique de telle galaxie à anneau. Sur les photographies classiques NGC 7828 a la forme d'un anneau déformé sans noyau stellaire défini avec une galaxie compagnon sphéroïdale (NGC 7829).

L'interprétation de telle structures est devenu classique depuis les années 1975, en particulier grâce à la mise en oeuvre de simulations numériques sur ordinateur, qui ont permis de produire ces structures comme résultat de la collision frontale d'une galaxie spirale et d'une galaxie compagnon compacte. En général une galaxie à anneau ainsi formée comporte deux noyaux stellaires reliques. Ce n'est pas toujours ce que l'on observe; par exemple dans le cas de Arp 144, un seul noyau stellaire est observé, dans le compagnon compact. Ceci a conduit en 1974 à une interprétation fondée sur un autre modèle dynamique dans lequel une galaxie spirale isolée entre en collision avec un nuage intergalactique d'hydrogène neutre en formant un anneau reste du disque de gaz arraché à la galaxie; dans ce scénario un seul noyau stellaire résidu, proche de l'anneau, subsiste.

Les étoiles évoluées constituant ce noyau unique (ou ces deux noyaux dans le cas de deux galaxies en collision) émettent essentiellement leur énergie dans le proche infrarouge (1-2 μm) qui est également une région spectrale où l'extinction interstellaire est beaucoup moins importante que dans la région du visible. C'est pourquoi des chercheurs de l'Université du Texas à Austin ont récemment réalisé des clichés du système Arp 144 avec le télescope de 2,7 m de l'Observatoire Mc Donald équipé d'une caméra infrarouge travaillant dans les 3 bandes J, H, K correspondant respectivement aux longueurs d'onde : 1,25, 1,65 et 2,2 μm . Ces clichés révèlent très clairement la présence de deux sources brillantes séparées de 32" et coïncidant avec le centre du compagnon sphéroïdal (NGC 7829) et avec celui de l'anneau (NGC 7828). L'analyse des couleurs infrarouges indique les caractéristiques d'une population stellaire évoluée typique des noyaux de galaxies avec une masse de l'ordre de 10 milliards de masse solaire pour chaque noyau et une extinction interstellaire particulièrement importante au centre de l'anneau (au moins 3 magnitudes dans le visible). Dans ces conditions, il est tout à fait normal que le noyau stellaire massif de NGC 7828 ait échappé à la détection dans le domaine visible. Ainsi, deux noyaux massifs distincts sont bien présents dans Arp 144 indiquant que ce système est le résultat de l'interaction gravitationnelle entre deux galaxies massives sans qu'il soit nécessaire d'invoquer la présence d'hypothétiques nuages de gaz intergalactiques.

Ces observations illustrent l'efficacité de la photométrie des galaxies dans le proche infrarouge pour déceler la structure, inaccessible dans le domaine visible, de systèmes enveloppés de poussières. Elles témoignent aussi du très récent et spectaculaire développement de la technologie des détecteurs infrarouges à deux dimensions, appliquée à l'astronomie

Publications du CLEA

LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE

Sont encore disponibles ceux de Digne 1978 (25 F), Grasse 1979 (35 F), Sophia-Antipolis 1982 (50 F), Grasse 1983 (58 F), Formiguères 1984 (65F), Formiguères 1985 (100 F), Formiguères 1986 (100 F).

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

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 (25 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 (45 F)

LE TRANS-SOLUTE

Un "kit" qui permet de construire un TRANSPARENT animé montrant le SOLEIL, la LUNE et la TERRE ainsi que leurs mouvements relatifs. Réalisation J. Ripert et G. Fugilando (50 F)

LES CAHIERS CLAIRAUT, bulletin trimestriel du CLEA

Abonnement simple 1988 (n°41 à 44) : 60 F (soutien 80 F)

Cotisation simple au CLEA pour 1988 : 25 F

Abonnement et cotisation au CLEA 1988 (n°41 à 44) : 80 F (soutien 100 F)

Possibilité de s'abonner et de cotiser pour deux ans en doublant les tarifs

Prix des Cahiers Clairaut au numéro, l'exemplaire : 25 F

Collection complète des Cahiers (n° 1 à 40) : 420 F

A l'intention des nouveaux abonnés, onze fascicules ont été édités, ils réunissent par thèmes des articles publiés dans les Cahiers Clairaut. Le fascicule FI est un index des articles publiés. TOUT NOUVEL ABONNÉ reçoit en témoignage de bienvenue, cet index et un fascicule à choisir dans la liste suivante : FA. L'astronomie à l'école élémentaire ; FB. L'astronomie au collège ; FC. Construction d'une maquette ; FD. Construction d'un instrument ; FE. Réalisation d'une observation ; FF. Les potins de la Voie Lactée ; FG. Astronomie et informatique ; FH. Articles de physique ; FJ. Articles d'astrophysique ; FK. Histoire de l'astronomie ; FL. Interprétation d'un document d'observation.

Les commandes de comptes rendus, de fascicules ou des TRANS-SOLUTE ainsi que les abonnements, réabonnements ou cotisations sont à adresser au secrétaire du CLEA, Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST SAINT-CLOUD (tél (1) 47 71 69 09)

en joignant le chèque correspondant libellé à l'ordre du CLEA.

Directeur de la publication : Lucienne Gougenheim

Imprimerie HAUGUEL, 92240 Malakoff

Dépot légal : 1^{er} trimestre 1979 ; numéro d'inscription à la CPPAP : 61660

