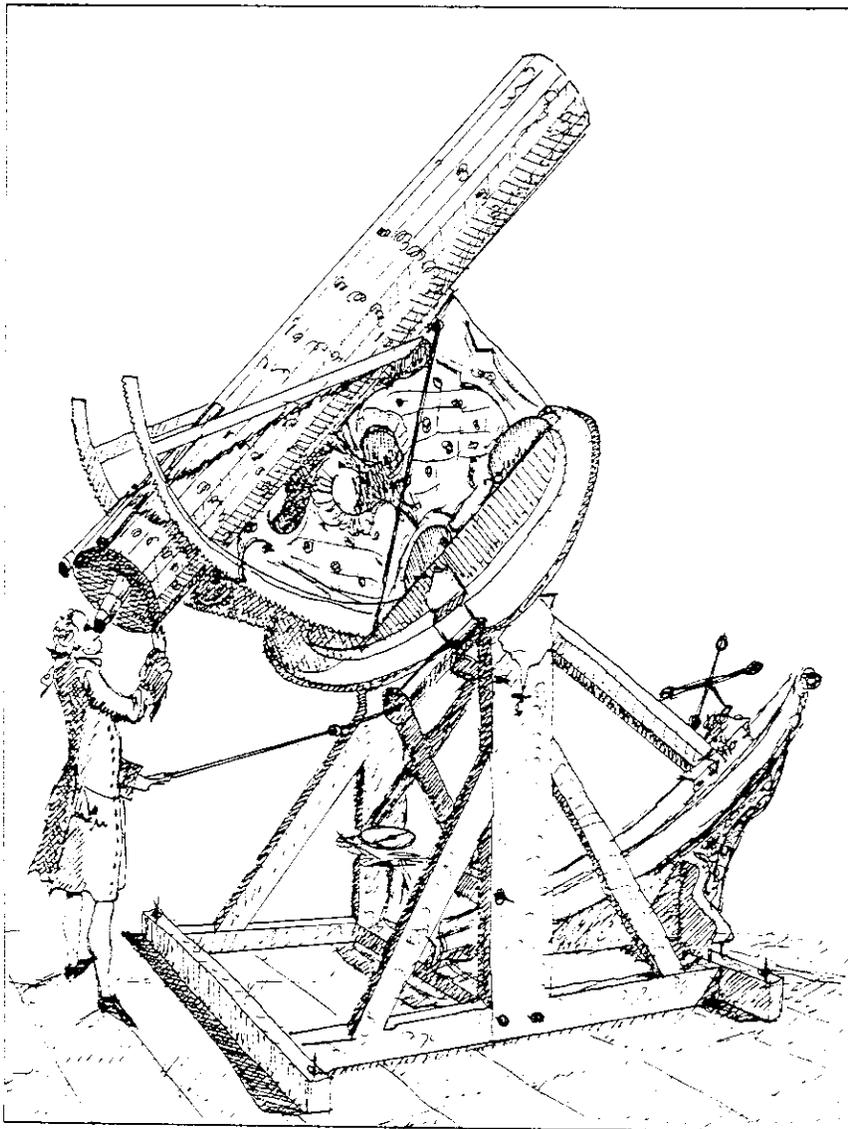


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n° 34 - automne 1986

LES CAHIERS CLAIRAUT

n° 34 Automne 1986

page

La relation de Tully-Fisher et la détermination des distances extragalactiques ... 3  
 Le regard dans les étoiles (suite et fin).....10  
 Après trois cents ans .....13  
 Lectures pour la Marquise .....19  
 Le courrier des lecteurs .....23  
 La chronique du CLEA .....24  
 Les couchers de Vénus .....25  
 Abaque de temps sidéral .....28  
 Stage d'Astronomie à l'Université Paris XI .....30  
 Alors ... Raconte .....31  
 Les potins de la Voie Lactée .....34  
 Dix ans .....35  
 Huit années de Cahiers Clairaut .....36  
 Index des Huit premières années des Cahiers .....37  
 Liste des ouvrages recensés ou analysés dans les Cahiers .....43

EDITORIAL

Retenez déjà la date du 25 janvier, c'est celle que nous prévoyons pour l'Assemblée générale du CLEA. Nous attendons que vous nous proposiez des documents, films, diapos, relatant vos activités. Anne-Marie Louis est revenue de la Réunion fort enthousiaste; elle relate ses aventures dans ce numéro. Elle a rapporté de très belles photos dont les stagiaires de Formiguères ont eu la primeur; nous espérons qu'elle pourra en faire profiter toute l'Assemblée générale.

Nous remercions tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce numéro. Georges Paturel qui a agrémenté de ses jolis petits dessins un sujet très intéressant qui fait l'objet d'un petit exercice pratique, tout en vous décrivant une méthode de recherche moderne. Jean-Paul Rosensthiel, qui répond à une question posée (par lui-même!) à propos des couchers de Vénus. Jacques Vialle, enfin pour le gros travail de traduction qu'il a fait de la seconde partie de l'article de Nicoletta Lanciano.

Nous avons en projet pour le prochain numéro un article de Cecilia Iwaniszewska sur Hévélius, à l'occasion du bicentenaire de sa mort. Ecrivez-nous, et n'hésitez pas à nous envoyer vos articles que nous avons toujours beaucoup de plaisir à lire et à publier.

Bonne rentrée!

La rédaction

TARIFS POUR LA NEUVIEME ANNEE

Abonnement seul (n°33 à 36)... 50 F (soutien 75 F)  
 Cotisation seule au CLEA pour 1986 ... 25 F  
 Abonnement (n°33 à 36) et cotisation 1986 ... 70 F (soutien 100F)

Fiche d'adhésion au CLEA (1986)  
 Fiche d'abonnement n°33 à 36

Fiche d'adhésion au CLEA pour 1986  
 Fiche de réabonnement (n°33 à 36)

Mr Mme Mlle

numéro d'abonné

NOM (en capitales)

prénom

Adresse  
CODE POSTAL

désire adhérer au CLEA

désire adhérer au CLEA

s'abonne aux Cahiers (n°33 à 36)

se réabonne aux Cahiers (n°33 à 36)

désire recevoir la collection complète des Cahiers (n°1 à 32) (300 francs)

Adresser fiche et chèque joint au secrétaire-trésorier  
 Gilbert WALUSINSKI, 26 Bérengère, 92210 SAINT CLOUD

tél (1) 47 71 69 09

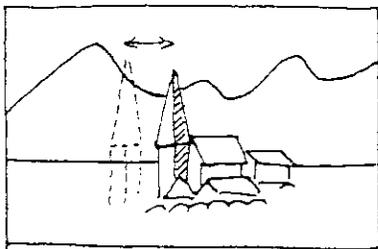
LA RELATION DE TULLY-FISHER ET LA DETERMINATION DES DISTANCES EXTRAGALACTIQUES

Nous nous proposons de faire un exercice pratique sur la détermination des distances extragalactiques. Nous commencerons par présenter la méthode employée, puis, à partir de données réelles, nous essayerons de calculer la distance de galaxies lointaines.

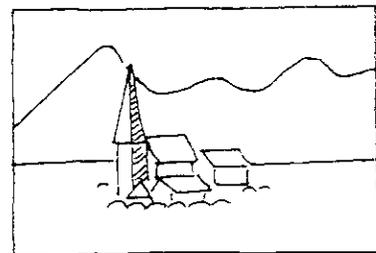
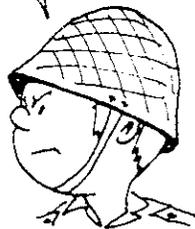
I-INTRODUCTION

La difficulté de la détermination des distances astronomiques vient de ce qu'il n'est pas question de reporter notre mètre étalon le long de la ligne de visée. Pour essayer de saisir concrètement la difficulté transposons au quotidien: demandons nous comment déterminer la distance des villages voisins sans quitter notre appartement. Deux étapes sont nécessaires.

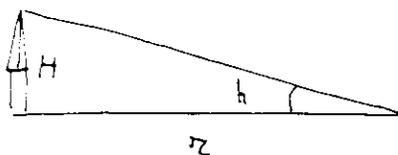
1) La distance du village le plus proche est obtenue par la méthode de triangulation chère aux artilleux, en visant par exemple, le clocher du village depuis deux fenêtres de notre appartement. Du déplacement angulaire apparent du clocher et de la distance entre nos deux fenêtres nous déduisons la distance qui nous sépare jusqu'à l'église, sans autre postulat que le bon vieux postulat d'Euclide. Notons au passage (cette remarque aura une grande importance pour la suite) que la hauteur vraie du clocher pourra alors se calculer par la mesure de la hauteur apparente (angle sous lequel on voit le clocher).



*Chef, le point de repère se déplace!*



2) Pour un village plus lointain aucun déplacement angulaire apparent n'est mesurable. Il nous faut procéder autrement. Si nous supposons que tous les clochers de villages sont identiques à celui dont nous avons déterminé la hauteur vraie à l'étape 2, alors la mesure de la hauteur apparente d'un quelconque clocher nous donne sa distance. La difficulté est donc de connaître a priori la hauteur vraie du clocher lointain.



*Si je mesure h  
Si je connais H  
je déduis la distance  
 $r = \frac{H}{\tan \alpha}$*



Revenons à notre problème extragalactique. En utilisant les deux étapes que nous venons de voir les astronomes sont arrivés à connaître les distances de quelques galaxies proches, les GALAXIES ÉTALONS. Ils ont pu obtenir ainsi leur magnitude absolue (rappelons que la magnitude absolue n'est autre que la magnitude apparente qu'elles auraient si elles étaient toutes placées à la même distance de 10 parsecs).

Comment allons nous utiliser ces quelques galaxies étalons pour calculer les distances des galaxies plus lointaines?

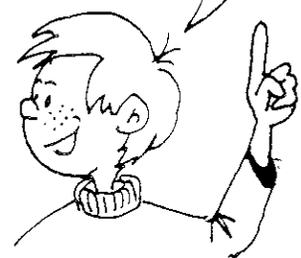
S'il était possible de connaître a priori la magnitude absolue des galaxies lointaines, la simple mesure de leur magnitude apparente nous donnerait leur distance au moyen de la relation classique:

$$m - M = 5 \log r + 5 \quad (1)$$

où  $m$  est la magnitude apparente mesurée,  $M$  la magnitude absolue que nous supposons connue, et  $r$  la distance exprimée en parsec (1 pc = 3,26 année lumière). Cette relation (1) exprime que l'éclat apparent décroît comme l'inverse du carré de la distance (voir l'encadré 1).

Le problème est donc posé: Comment obtenir la magnitude absolue d'une galaxie lointaine? C'est la relation de Tully-Fisher qui va nous permettre de résoudre ce problème. Cependant pour comprendre l'origine de cette relation nous devons faire un petit tour du côté de la radioastronomie.

Msiem! Si je comprends bien la magnitude absolue c'est comme la hauteur vraie du clocher du village (\*)



(\*) Notez que cette phrase serait incompréhensible en dehors du contexte.

ENCADRE 1 -----

La magnitude  $m$  d'une source est définie, à une constante près, par:

$$m = -2.5 \log E + cte \quad \text{où } E \text{ est l'éclat apparent de la source}$$

On définit alors la magnitude absolue  $M$

$$M = -2.5 \log E_0 + cte \quad E_0 \text{ est l'éclat qu'aurait la source à la distance de } 10 \text{ pc (1 pc = 3,26 a.l.)}$$

Or l'éclat varie comme l'inverse du carré de la distance  $r$ :

$$E = k/r^2 \quad \text{d'où on déduit: } E/E_0 = (10/r)^2$$

en prenant les logarithmes et en multipliant par  $-2,5$  on a:

$$m - M = 5 \log r - 5 \quad r \text{ en pc}$$

On sait mesurer  $m$  pour une source; si on connaît  $M$  on peut alors calculer la distance  $r$ . LA DIFFICULTE EST DE CONNAITRE  $M$  !

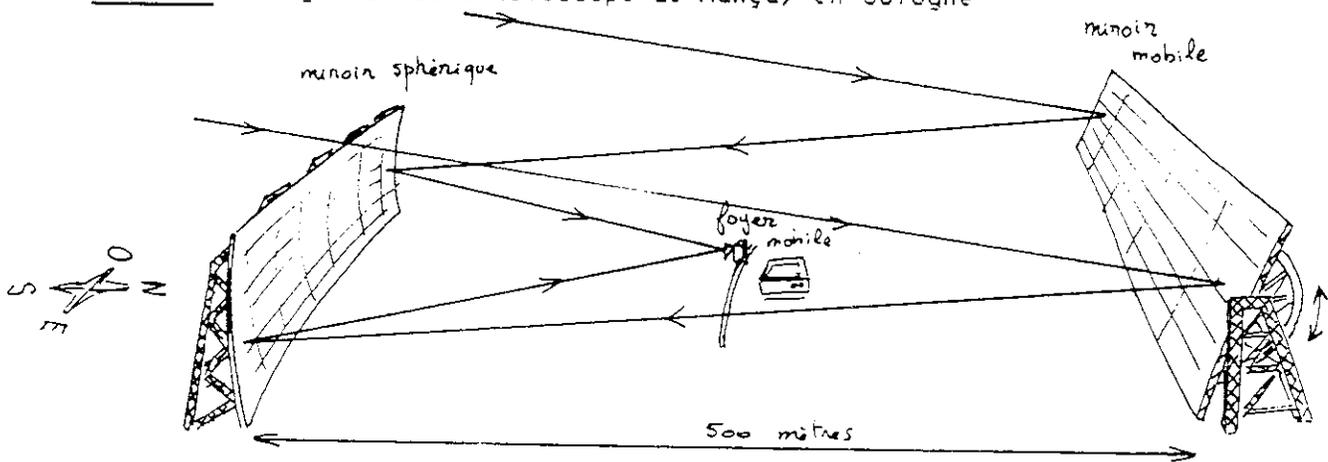
-----

## II- UN PEU DE RADIOASTRONOMIE

L'hydrogène est le constituant fondamental de l'Univers. En 1944 l'astronome Van der Hulst montra qu'il était possible d'observer le rayonnement émis par l'hydrogène atomique neutre. En effet, l'atome d'hydrogène neutre a deux états d'énergie selon que le spin du noyau et celui de l'électron sont parallèles ou antiparallèles. Quand l'atome passe d'un état à l'autre il y a émission d'un rayonnement à la longueur d'onde 21,1 cm. Pour un atome donné cette émission se produit seulement tous les onze millions d'années. Mais heureusement il y a beaucoup d'atomes d'hydrogène neutre, en particulier dans certaines galaxies.

Pour observer un rayonnement si peu énergétique, il faut des miroirs de très grande surface. Par exemple le radiotélescope de Nançay en Sologne (figure 1) a un miroir de 7000 mètres-carrés de surface utile. En revanche la surface du miroir n'a pas besoin d'être finement polie. Un simple grillage suffit pour réfléchir des ondes aussi grandes.

figure 1: Le grand radio-télescope de Nançay en Sologne



Revenons aux galaxies. L'hydrogène neutre contenu dans une galaxie émet un rayonnement. En l'absence de tout mouvement cette émission serait mesurée exactement à la longueur d'onde 21,1 cm. Mais les galaxies se meuvent et tournent sur elles-mêmes. Or le rayonnement est affecté par ces mouvements en vertu de l'effet Doppler-Fizeau: Si la partie émissive se rapproche de nous le rayonnement est vu à une longueur d'onde plus petite; à l'inverse si la partie émissive s'éloigne de nous le rayonnement est vu à une longueur d'onde plus grande.

Une galaxie vue de face produit une raie d'émission simple comme celle représentée à la figure 2. Le rayonnement n'est en général pas centré sur 21,1 cm car la galaxie peut avoir un mouvement d'ensemble. Mais la rotation de la galaxie ne change pas la forme de la raie. La raie n'est pas infiniment étroite car les nuages d'hydrogène neutre ont des mouvements d'agitation.

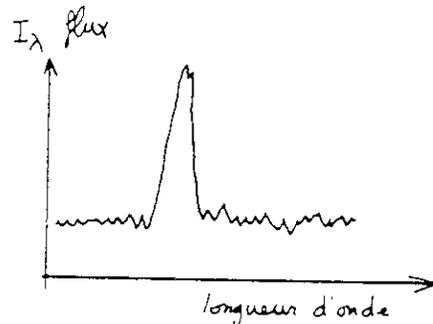


figure 2

Pour une galaxie vue sous un certain angle d'inclinaison la forme de la raie d'émission est modifiée par la rotation (figure 3). Plus précisément, la largeur  $W$  de la raie est une fonction de la répartition de l'hydrogène neutre dans la galaxie, de la vitesse de rotation et de l'angle sous lequel on voit la galaxie.

Essayons de calculer la vitesse de rotation de la galaxie. Un calcul simple montre (voir encadré 2) que l'on a :

$$W_0 = W / (1 - (b/a)^2)^{1/2} \quad (2)$$

où  $W_0$  est égal au double de la vitesse maximum de rotation;  $a$  et  $b$  sont les axes de l'ellipse représentant le contour apparent de la galaxie.

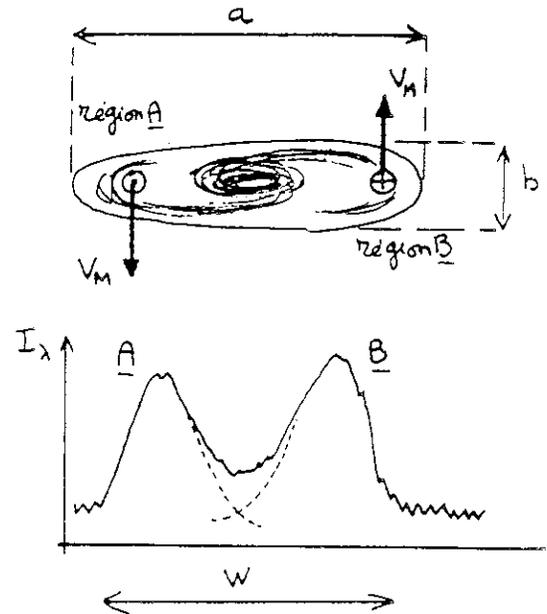
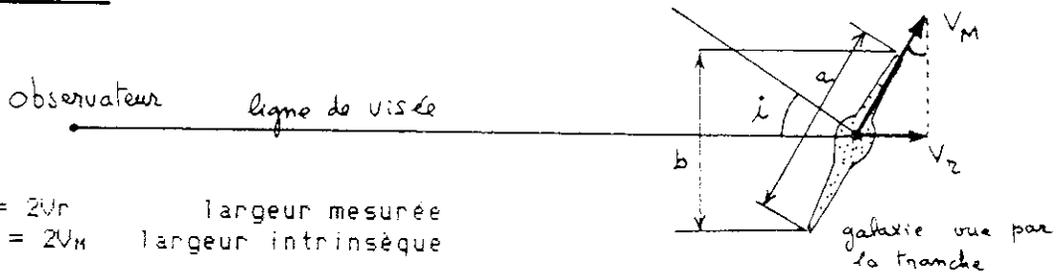


figure 3

En 1975 les astronomes Brent Tully et Richard Fisher ont trouvé une relation reliant  $W_0$  et la magnitude absolue d'une galaxie. Cette relation est très intéressante; elle signifie que la mesure de  $W_0$  nous donne la magnitude absolue  $M$  de la galaxie et, rappelez vous, c'est justement la quantité dont nous avons besoin pour pouvoir déduire la distance d'une galaxie.

Encadré 2



$w = 2V_r$       largeur mesurée  
 $W_0 = 2V_M$     largeur intrinsèque

$V_r$  est la composante de  $V_M$  le long de la ligne de visée (composante radiale). On a donc :

$$V_M = V_r / \sin i$$

Or si la galaxie est un disque mince on a :  $\cos i = b/a$

De ces quatre relations on déduit facilement la relation cherchée :

$$W_0 = W / (1 - (b/a)^2)^{1/2}$$

### III- LA RELATION DE TULLY-FISHER

Pour bien comprendre le calcul de la distance d'une galaxie lointaine à partir de la relation de Tully-Fisher je vous propose un exercice pratique. Cet exercice comprendra deux étapes:

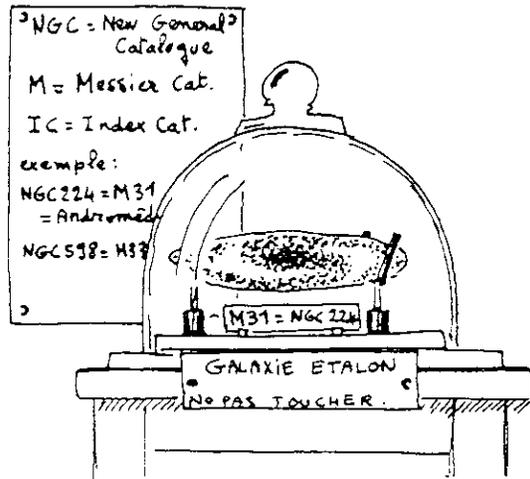
- 1) établissement de la relation de TF avec les galaxies-étalons
- 2) application de cette relation à la détermination de la distance de galaxies lointaines.

#### III-1 Etablissement de la relation de TF

A la figure 4 nous avons reproduit les raies d'émission de l'hydrogène neutre pour six galaxies étalons utilisées par Tully et Fisher. Pour ces mêmes galaxies nous donnons ci-après (table 1): la magnitude absolue et les dimensions apparentes des axes tels qu'elles étaient connues en 1975.

Table 1: Galaxies-étalons

galaxie	M mag.	a	b	W km/s	logWo
M 31	-20,59	197	92	534	2,78
M 33	-19,73	83	53	204	2,42
NGC2366	-16,62	10	5	110	2,11
NGC2403	-19,23	29	15	265	2,49
NGC4236	-18,14	26	9	196	2,32
IC2574	-17,02	16	8	130	2,18



Sur les spectres vous pouvez vous amuser à mesurer les largeurs W, par exemple à un niveau de 20% du niveau maximum (ce niveau a été marqué d'un trait horizontal).

Nous avons deux remarques à faire concernant ces spectres:

- L'axe des abscisses est gradué en Km/s. En effet, il est d'usage en radioastronomie d'exprimer une longueur d'onde L en terme de vitesse radiale V au moyen de la relation Doppler-Fizeau  $V = C (L - L_0) / L_0$ . Dans cette relation, C est la vitesse de la lumière et L<sub>0</sub> la longueur d'onde au repos (21,1 cm).

- Certaines raies (par exemple pour IC 2574) sont tronquées à cause de l'absorption par l'hydrogène neutre de notre propre Galaxie (HI local). Dans un tel cas il faut compléter la partie manquante en supposant par exemple que la raie est symétrique.

Quand vous aurez mesuré W il vous suffira de calculer Wo avec la relation 2. Le résultat est donné dans le tableau 1 (pour les paresseux). Finalement, portez sur un graphique les valeurs de M en fonction de log Wo. Les points se placent sur une droite (figure 5) répondant à peu près à l'équation:

$$-M = 6,0 \log Wo + 4,0 \quad (3)$$

C'est la relation de Tully-Fisher.



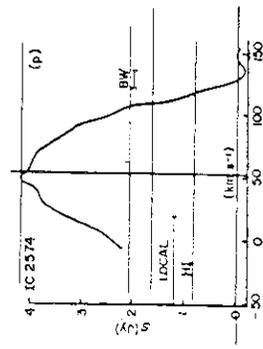
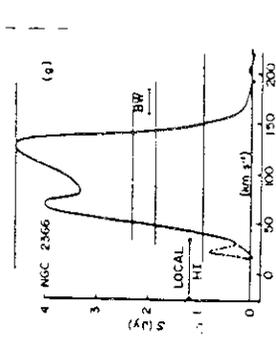
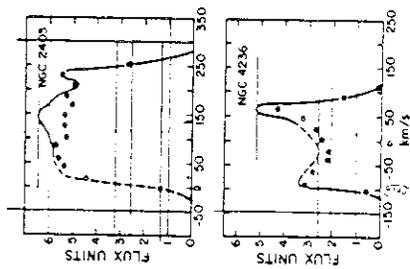
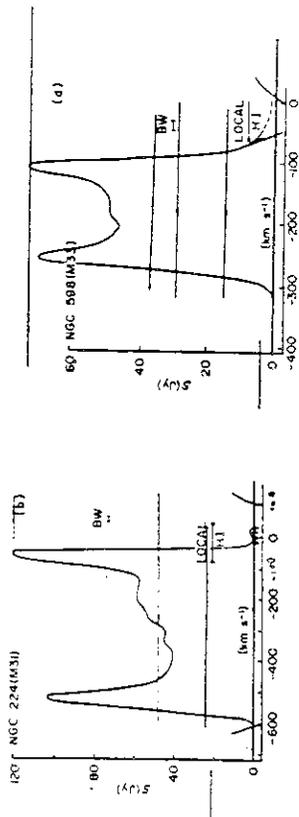


figure 4

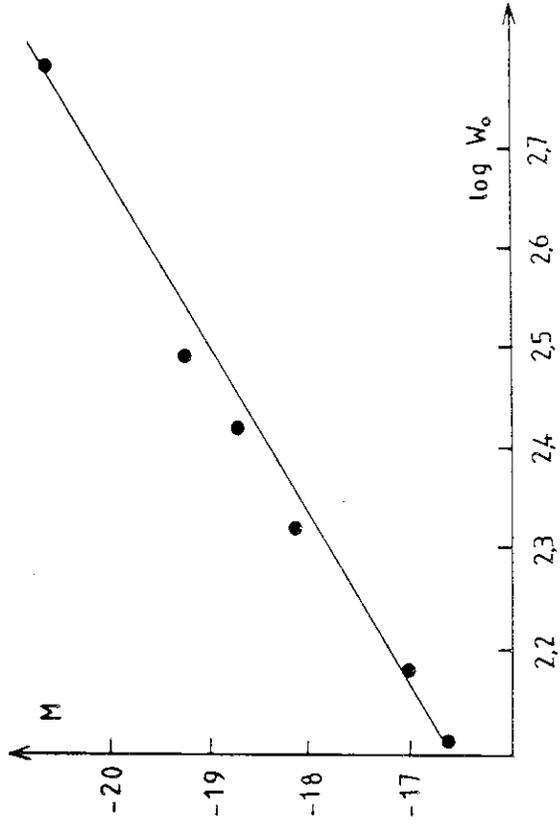


figure 5

III-2 Application au calcul de la distance de l'amas VIRGO

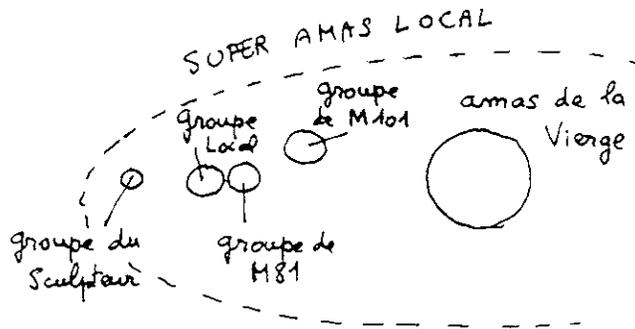
Près du pôle Nord de notre Galaxie il y a un amas de galaxies très peuplé, l'amas Virgo. Depuis les travaux de l'astronome Gérard de Vaucouleurs on sait que l'amas Virgo est le centre d'une super-condensation (le Super Amas Local) à l'intérieur de laquelle notre Groupe Local, auquel appartient notre galaxie, n'est qu'un élément minuscule.

Comme application de la relation Tully-Fisher nous allons calculer la distance nous séparant de l'amas Virgo.

Pour huit galaxies appartenant à l'amas Virgo nous donnons dans la table 2: la largeur de la raie de l'hydrogène neutre  $W_0$ , obtenue comme précédemment et la magnitude apparente  $m$  (corrigée des effets d'absorption). Cette magnitude, de même que  $W_0$ , est mesurable depuis le sol.

Table 2: Galaxies de l'amas Virgo

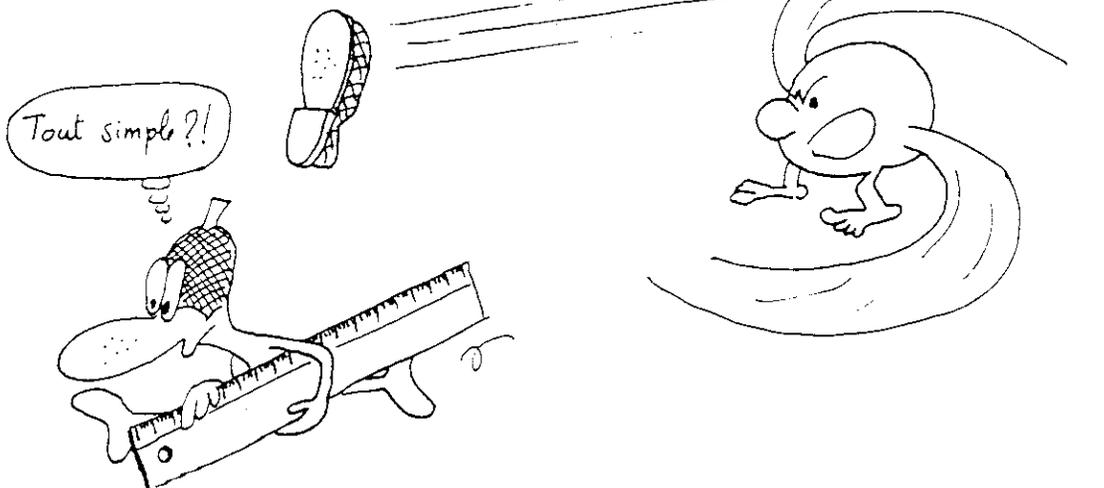
galaxie	m mag.	$W_0$ km/s
NGC4178	11,3	293
4192	10,3	465
4206	11,6	301
4501	9,8	592
4532	12,2	294
4535	10,3	436
4651	11,1	440
4654	10,8	368



En utilisant la relation de TF que vous avez trouvée (relation 3) vous calculerez la magnitude absolue  $M$  à partir de la largeur  $W_0$ . Vous appliquerez alors la relation (1);  $m$  et  $M$  étant connus vous déduirez facilement la distance  $r$ , en million de parsecs (Méga parsec = Mpc). La moyenne de toutes les valeurs de  $m-M$  est trouvée égale à  $\langle m-M \rangle = 30,5$ , soit une distance de  $\langle r \rangle = 12,6$  Mpc (i.e. 41 millions d'années-lumière).

Quand nous regardons une galaxie de Virgo nous la voyons telle qu'elle était il y a environ 40 millions d'années.

G. Paturol  
Observatoire de Lyon



## LE REGARD DANS LES ETOILES / cinq semaines de classes vertes à thème astronomique

---

NDLR - Voici la fin du récit complet de l'expérience réalisée par Nicoletta Lanciano et ses collègues italiens et dont la première partie a paru dans le Cahier 33 (p.21). Merci encore à Jacques Vialle qui a traduit le texte de Nicoletta.

### QUELQUES EXPERIENCES PROPOSEES DANS LES CLASSES VERTES

1. Activités de mouvement, pour "vivre" la nature et découvrir les rapports qui existent entre soi-même et l'environnement, entre les dimensions et les distances des objets terrestres et célestes.

2. Le jeu des constellations (voir Didattica delle Scienze, n°108, 1983: article de N.Lanciano) pour rassembler en un modèle unique toutes les observations directes de la Terre, du Soleil et de la Lune relativement aux douze constellations du Zodiaque.

3. Le cours du Soleil au cours d'une journée, grâce à trois expériences, outre celles que l'on peut mener avec un théodolite ou un gnomon :

- Un anneau fixe au travers duquel on peut observer le Soleil. Toutes les heures on tire un fil entre cet anneau et un bâton planté en terre. On montre ainsi la variation de l'azimut et de la hauteur. Expérience menée avec des jeunes de treize ans.

- Un grand écran transparent avec un point central fixe qui sert de repère. On dessine l'horizon et on trace sur l'écran le trajet apparent du Soleil matérialisé par de petites gommettes colorées. Expérience réalisée avec des jeunes de douze à treize ans.

- Dès le lever du Soleil, un premier enfant observe la direction de l'astre et marque cette direction sur le sol à l'aide d'un bâton. Il trace alors un petit sillon à l'aide d'un piochon. Puis un second enfant, à partir de ce repère, procède de même. Cette succession d'observations faites à intervalles réguliers finit par matérialiser sur le sol le trajet apparent du Soleil. Expérience réalisée avec des enfants de huit ans.

#### "Le sillon tracé par le Soleil..."

Simon : nous avons marqué le Soleil ; nous avons vu où il allait et puis en arrachant l'herbe, nous avons mis le Soleil sur la Terre.

Elisabetta : les rayons du Soleil sont passés dans le sillon, mais le Soleil est resté dans le ciel.

Attilio : nous avons fait une ligne sur la prairie pour poursuivre le Soleil parce que nous voulions voir où il se cachait la nuit.  
(conversation entre enfants de six ans)

4. Observations au télescope des planètes et si possible de la Lune :

"Avec le télescope on s'aperçoit que la Terre tourne. Jupiter s'échappait tout le temps du télescope et il fallait lui courir après."(Mariella, 13ans)

"La Lune était blanche, on voyait des cratères, elle était entourée par le ciel, il me semblait qu'elle était tout contre mes yeux."(Leonardo, 8ans)

5. Faire surgir les images intérieures que l'on a de l'Univers : un vaste espace qui se remplit peu à peu de cartons, de petites cartes, de couleurs et de pinceaux. Par le biais de l'activité picturale, il s'agit de faire surgir les idées et images subconscientes que nous avons de l'origine du monde et que nous portons en nous souvent sans le savoir. On échange ensuite des idées, des hypothèses, des intuitions.

Conversation entre enfants de douze-treize ans : Nicola "Dater la création du monde est impossible ; c'est comme donner un commencement au temps, comme si tu disais qu'il y a une force qui a donné le feu vert à la création de la vie ; il doit aussi y avoir une date pour ça. Le temps, c'est quelque chose de tellement infini..." Guido "Mais qu'est-ce qu'il y avait avant? Ce n'était pas le "rien". Je pense qu'il ne pouvait pas y avoir quelque chose dans l'espace et dans le temps parce que tout ce qui est dans l'espace

et dans le temps doit naître de quelque chose d'autre. Alors c'était quelque chose sans espace et sans temps ; autre chose." Giovanna "Les savants ne le savent pas non plus..."

En ce qui concerne l'astronomie et plus généralement l'éducation scientifique, nous cherchons ainsi à explorer des méthodes et des situations qui puissent favoriser une rencontre fructueuse entre les enfants et la science. Trop souvent, les blocages et parfois l'hostilité envers les mathématiques et les disciplines scientifiques sont dus à des traumatismes scolaires. Grâce à l'observation du ciel et à l'attention portée à toute la nature, en se percevant soi-même en relation avec la nature, en recherchant la beauté qui est autour de nous, nous tentons de susciter une occasion de rencontre entre l'enfant et la science, et une rencontre qui soit la plus agréable possible.

Ceci ne signifie pas que tout soit rendu facile : bien au contraire, les exigences que nous manifestons vis-à-vis de nous-mêmes et envers les enfants ne manquent pas d'ambition.

Un exemple qui montre comment l'approche que nous proposons peut constituer une pierre d'achoppement provisoire qui va stimuler nos aptitudes et réveiller une attention parfois assoupie, et cela par le fait même que cette démarche est inhabituelle pour celui qui a été "dressé" par l'École à parler, à lire et à enregistrer : c'était un matin, face au levant, silencieux pour privilégier le travail des yeux, et à mesure que la nuit disparaissait, nous découvrions les lentes variations de la lumière et des odeurs et nous contemplions le paysage qui se dessinait peu à peu, de plus en plus précis, à l'endroit où le Soleil surgirait.

Nous ne sommes pas habitués à attendre. Mais les enfants regardent, prennent leur temps pour contempler et respectent le silence. Aussi surprenant que cela puisse paraître, nous n'avons jamais eu à imposer le silence : c'était une condition bien acceptée par les enfants et dont la richesse implicite n'a pas échappé à leurs sens aiguisés par l'attente.

Les instants réels auxquels se produisent les phénomènes astronomiques imposent une discipline et on ne peut ni les contrarier, ni les déclencher ni les contrôler comme dans les expériences de laboratoire ou avec des modèles fictifs. Lors de la première semaine de classe verte, les planètes Mars et Saturne n'étaient visibles que pendant la dernière partie de la nuit, à partir de 4 heures du matin, et nous voulions les observer. Alors nous avons éveillé les enfants par groupes de cinq ou six, nous leur avons donné du lait chaud, nous les avons emmitouflés et nous les avons envoyés au télescope :

"Il est 4 heures du matin ; le ciel est clair. Quelqu'un a préparé le télescope pour observer la Lune, Mars et Saturne. Nous sommes un peu endormis mais nous sommes sortis du lit, nous nous sommes habillés chaudement parce que dehors, il fait froid. On fait les observations et puis au dodo."  
(Simona, huit ans)

"En voyant Saturne et ses anneaux, Marco m'a dit : je ne savais pas que le monde pouvait être aussi beau." (Marco, huit ans)

Apprentissage et aussi acquisition de l'aptitude à interroger un objet de connaissance, l'expérience de la vie à la première personne et du regard direct porté sur la nature fait jaillir les vraies demandes vis-à-vis desquelles le "besoin de savoir" est un désir réel qui nous rend disponible pour accueillir de manière personnelle les réponses des autres et de nouvelles questions.

Giancarlo a expliqué ainsi le processus laborieux et complexe de l'acquisition de la connaissance : "Et puis le soir, quand on regardait le ciel, je me sentais un peu embrouillé parce que je pensais une chose et à ce que m'avait appris le maître. Et je comprenais les deux et je ne savais plus qui avait raison..."

Les multiples expériences proposées incitent les enfants à formuler des hypothèses et des questions. Et ainsi on vérifie de façon irréfutable pourquoi les objets et les phénomènes auxquels nous sommes confrontés posent problème, par leur nature même. On comprend aussi pourquoi nous cherchons à stimuler cette attitude des enfants à travers l'écoute de leurs "hypothèses fantastiques" et personnelles et aussi de leurs questions élaborées et venues d'eux-mêmes.

Les hypothèses formulées par Sergio et Simon (neuf ans) : "Les planètes ont des couleurs différentes parce que les couleurs changent avec la distance au Soleil ; si une planète est près, elle est rouge ; si elle est loin, elle est bleue. Les planètes sont rondes pour mieux tourner dans l'espace. Elles sont différentes l'une de l'autre à cause de l'environnement dans lequel elles se trouvent. Les planètes bougent parce que si elles s'arrêtaient, ce serait toujours le jour ou toujours la nuit pour leurs habitants."

Les hypothèses de Clara (neuf ans) : "Les planètes ont toutes des couleurs parce que le Soleil les illumine. Certaines planètes bougent et d'autres sont arrêtées et puis d'autres tournent sur elles-mêmes et errent dans l'espace."

Hypothèses faites par Simon (neuf ans) : "Pour moi, les planètes les plus brillantes sont celles qui sont les plus près du Soleil et qui ont absorbé sa lumière pendant de nombreuses années. Celles qui brillent moins sont les plus lointaines. Jupiter a dû être très près du Soleil pour s'enflammer et être couvert de volcans, puis la planète s'est éloignée. Mais les étoiles ne sont pas toutes de la même couleur ; elles sont toutes différentes. D'ici on les voit toutes blanches, mais si on s'en rapprochait, on les verrait de couleurs différentes."

Au début de chaque classe verte, nous retirions toutes les montres et toutes les pendules, grandes et petites, pour ne les retrouver qu'à la fin du stage. Ceci nous a aidés à retrouver l'organisation naturelle du temps et sa mesure intuitive, en dehors des heures dont le rythme nous est imposé, de manière toujours égale et égale pour tous.

Un poème écrit par Guido nous donne une synthèse de sa semaine d'astronomie :

"Au début, on nous a enlevé le temps de la pendule  
Et la mesure des rues de la ville.  
Il nous restait le Soleil et les bois,  
Il nous restait le ciel et les animaux,  
Il nous restait la liberté et la curiosité,  
Il nous restait la lumière  
Et c'est le premier fruit que nous avons récolté  
En regardant, regardant et regardant encore."

Guido a treize ans.

Nicoletta Lanciano  
(traduction Jacques Vialle)

BIBLIOGRAPHIE : Quelques-unes des expériences précédentes du groupe sont commentées dans les textes suivants :

- N.Lanciano, M.Quaranta, "Cenci : 29-30 aprile, 1 maggio 1983 : osservazioni astronomiche di III media" in Giornale di Astronomia, 10,1 (1984)
- M.Spadaro, "L'eclisse di via di S.Michele" in Giornale di Astronomia, 10, 364 (1984)
- M.Spadaro, "Quest'anno in quarta elementare abbiamo studiato Astronomia" in Cooperazione Educativa, n°6 (Juin 1983)
- N.Lanciano, "Dall'esperienza al modello in Astronomia", in Didattica delle Scienze, n°108 (nov 1983)

## APRES TROIS CENTS ANS ...

---

Lire Newton en 1986 ,

pour un lecteur de mon genre, ce n'est pas tellement facile. Incapable de lire le latin - et l'original des Principia est en latin -, fatigué par deux pages en anglais, je dois me limiter aux textes en français de ma bibliothèque. Les éditions scientifiques classiques en français ne sont pas abondantes. Le choix de mes sources est donc restreint, autant les annoncer tout de suite :

((1)) ISAAC NEWTON - Les Principes mathématiques de la philosophie naturelle, traduction de la Marquise du Chastellet augmentée des commentaires de Clairaut éd Blanchard 1966 reproduction de l'édition originale de 1756.

((2)) ISAAC NEWTON - De Philophiae Naturalis Principia Mathematica, préface de Stephen Hawking, traduction nouvelle, postface et bibliographie établies par Marie-Françoise Biarnais ; collection Epistémé ; éd Christian Bourgois 1985

((3)) ALEXANDRE KOYRE - Etudes newtoniennes, bibliothèque des idées ; éd. Gallimard 1968.

((4)) PIERRE COSTABEL - Isaac Newton, notice de l'Encyclopaedia Universalis, 1968.

((5)) E.N.DA C. ANDRADE - Sir Isaac Newton, collection "short lives", éd Collins, London 1954. (c'est ma seule source en anglais, un texte facile dans une collection qui n'a pas de prétention scientifique mais l'Auteur est un spécialiste des études newtoniennes et son petit livre situe bien l'homme et l'oeuvre dans son temps.)

Autrement dit je n'ai pas recours aux éditions complètes en latin ou en anglais pour lesquelles j'aurais du chercher dans les grandes bibliothèques (autant avouer que je n'en ai pas eu le courage, je suis si bien dans mon bureau...). Je laisse également de côté les autres ouvrages de Newton qui traitent d'optique ou de mathématiques, y compris La Méthode des fluxions et des suites infinies, même s'il faut, à propos de l'attraction universelle, regarder de quels outils mathématiques Newton disposait. C'est le tricentenaire de l'attraction universelle que nous voulons d'une certaine manière commémorer; sort donc de notre sujet tout ce que Newton a écrit sur la décomposition et la recomposition de la lumière blanche ou sur la construction du télescope, ce qui est pourtant d'un intérêt capital en astronomie, mais il faut bien se limiter...

Encore un mot sur les références ((1)) et ((2)) concernant toutes deux l'ouvrage qui est au coeur de notre sujet. Sans précision supplémentaire nous le désignerons par un seul mot, Principia. Mais pourquoi ces deux références? M-F.Biarnais auteur de l'ouvrage ((2)) critique la traduction de la Marquise du Châtelet ; pour elle ce serait, plutôt qu'une traduction, une transcription portant la marque des idées de Clairaut. Sans doute n'avait-on pas, au XVIII ème siècle, les exigences de fidélité au texte original que l'on peut demander, de nos jours, à un ouvrage scientifique. Je continue pourtant à utiliser le texte de 1756 qui a l'avantage d'être complet et de comporter les très instructifs commentaires de Clairaut. L'ouvrage de M-F.Biarnais ne donne la traduction que d'un petit nombre de pages et sur les 376 pages du volume, il n'y en a que cent de Newton (l'éditeur a eu le grand tort de ne pas afficher dans la page de titre qu'il ne nous présentait que des morceaux choisis, sans oublier l'autre tort de publier un tel livre sans index). Ceci dit, les importants commentaires de M-F.Biarnais sont fort utiles et très instructifs ; le prix du livre n'est pas trop élevé ce qui explique le rejet en fin de volume des élégantes figures de l'original, hélas miniaturisées.

Ceci dit, bonjour Newton :

Les Principia en résumé

---

L'édition originale des Principia a été réalisée en 1686-87. Date qui peut être considérée comme marquant le couronnement du mouvement scientifique parti de la Renaissance : Copernic (1543), Kepler

(1609-1619), Galilée (1610-1642), Descartes (1637), Huygens (1650), beaucoup d'obscurs et de glorieux à ne pas oublier du genre Fermat, Cassini, Gassendi, Roberval... et enfin Newton.

Avec nos lunettes de 1986, nous voyons des perspectives. Si nous nous replaçons en 1686 (mais en conservant nos lunettes), d'un côté nous voyons le couronnement, de l'autre l'avènement de la science moderne. En schématisant bien sûr. On objectera qu'il en est de même pour tout ouvrage important. Ainsi, en 1619, avec L'Harmonie du monde de Kepler, mais à un moindre degré. 1686 marque plus nettement le début d'une époque pour les sciences de la nature. On dispose désormais d'un modèle fortement mathématisé riche de développements ultérieurs parce que fondé sur quelques idées simples - qui nous paraissent simples parce que nous avons été formés dans leur climat, mais qui ne l'étaient sans doute pas pour les contemporains de Newton. Quelles idées ? Sans trop les ordonner, énumérons en résumant (donc, encore une fois en schématisant beaucoup) :

1. Il n'y a qu'une seule physique universelle et non comme on le prétendait auparavant une physique terrestre et une physique céleste, chacune avec ses lois propres. Notez en passant combien l'idée de la physique unique vous est familière alors qu'en 1686, il a fallu Newton pour la "familiariser".

2. Le monde comporte de la matière, des objets ; ces objets sont en mouvement les uns par rapport aux autres. Cette notion de mouvement implique l'idée de trajectoire décrite en fonction du temps, un temps qui est un absolu (du genre de la variable  $t$  des équations du mouvement). Ces mouvements ont lieu dans un espace vide et euclidien qui est aussi un absolu donné. Ce monde est donc géométrisé.

3. D'ailleurs l'outil mathématique, au besoin perfectionné (définition de la tangente à une courbe quelconque en un point par Fermat, coordonnées rectangulaires par Descartes, notion de "fluxion" c'est à dire de dérivée et utilisation des séries infinies par Newton) est le meilleur moyen pour exprimer les lois de la nature et leur faire dire tout ce qu'elles entraînent.

4. Parmi ces lois, énoncé définitif du principe de l'inertie et loi de l'attraction universelle. Ce sont les éléments constitutifs de la "mécanique rationnelle" comme on l'a longtemps appelée et que je désignerais plutôt par l'expression mécanique newtonienne. Une construction tellement remarquable qu'il faudra deux siècles pour en développer tous les mérites puis en percevoir les limites. Ce qui ne l'empêche pas de rester un modèle de tous les modèles qu'on a pu concevoir pour tenter de comprendre le monde physique.

Il faudra évidemment revenir sur la portée de cette oeuvre mais, pour le moment, il ne faut pas s'imaginer que les Principia sont sortis spontanément de la tête de Newton. Aussi géniale qu'elle fût, cette tête, elle avait lu et bien lu ce qui avait été écrit auparavant. Essayons d'en faire autant pour comprendre comment et pourquoi c'est Newton qui a fait la bonne synthèse et non tel autre savant de ce siècle si riche en grosses têtes. Pourquoi lui, pourquoi pas Descartes ou Huygens, par exemple ? Prenons le temps d'explorer les chemins qui ont mené à l'attraction universelle.

#### Les chemins d'approche

N'oublions pas qu'avant Kepler, la question de la cause physique des mouvements célestes ne se pose pas. Pour Copernic, le monde est formé de sphères concentriques autour du Soleil :

*"La plus haute de toutes est la sphère des étoiles fixes qui contient tout et se contient elle-même ; et qui par cela même est immobile."*

Les autres sphères intérieures portent les planètes et  
*"la mobilité propre de la sphère est de tourner en rond ; par cet acte même, tandis qu'elle se meut uniformément en elle-même, elle exprime sa*

forme, celle du corps le plus simple où l'on ne peut trouver ni commencement ni fin ni distinguer l'un de l'autre." (Des Révolutions des orbes célestes, début du chapitre IV sur les mouvements des corps célestes)

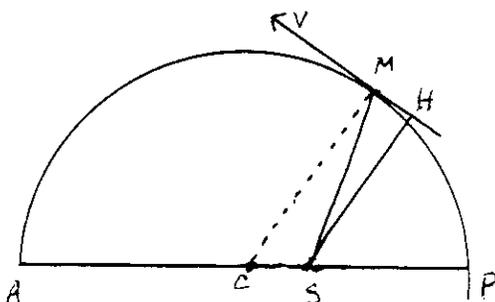
Notez bien, en tournant la sphère exprime sa forme ; on pense au tour du potier qui façonne ainsi la forme du vase. Mais la rotation des sphères porteuses des planètes est uniforme, tous les mouvements coperniciens sont circulaires et uniformes, ils s'entretiennent d'eux-mêmes, n'ont ni commencement ni fin (l'éternité du monde, l'éternité du temps...), nul besoin d'un moteur.

Dans son Mystère Cosmographique (1596), Kepler maintient les planètes sur des orbes sphériques mais celles-ci ne sont plus exactement centrées sur le Soleil (une excentricité propre à chaque planète permet de mieux approcher la réalité observée). Kepler place dans le Soleil la source de l'action animatrice qui entretient le mouvement des planètes ; sa mécanique restant aristotélésienne, les forces agissent tangentiellement aux orbites. Il explique les vitesses différentes des planètes selon leurs distances au Soleil et même, du fait de l'excentricité, la vitesse au périhélie plus grande qu'à l'aphélie. Il connaissait la loi d'affaiblissement de la lumière selon le carré des distances ; mais alors que le flux lumineux d'une étoile se répand dans une sphère, il imagine que l'action animatrice du Soleil ne se répand que dans le plan de l'orbite de la planète ; ce qui le conduit à cette conclusion inexacte d'une action inversement proportionnelle aux distances. Relisons-le pourtant, sa prose le mérite :

*"Si nous voulons espérer nous approcher davantage de la vérité et trouver une loi quelconque dans ces rapports entre les mouvements et les orbes, nous devons accepter une des deux assertions suivantes : ou bien les âmes mouvantes sont d'autant plus faibles qu'elles sont plus éloignées du Soleil, ou bien il n'y a qu'une seule âme mouvante au centre de tous les orbes, c'est à dire dans le Soleil, âme qui meut plus fortement les planètes qui sont près de lui, et moins fortement celles qui sont plus loin, en raison de la grande distance et de l'affaiblissement de la force qui y est liée. De même donc que la source de la lumière se trouve dans le Soleil et que c'est dans le lieu du Soleil, c'est à dire au centre du monde, que se trouve l'origine des orbes, de même c'est du Soleil que proviennent la vie, le mouvement et l'âme du monde. Aux étoiles fixes appartient dans cet ordre le repos, aux planètes une activité médiocre, mais au Soleil la première et propre activité, qui est incomparablement plus importante que les activités plus petites de toutes les autres choses, dans la mesure même où le Soleil, par la splendeur de son apparence, par l'efficacité de sa puissance, par la gloire de sa lumière, surpasse de loin tout le reste..."*

*...Il y a autant de lumière ou de rayons solaires dans un petit cercle que dans un grand ; et comme dans le petit cercle elle est plus dense et dans le grand plus diluée, la mesure de cette atténuation, aussi bien pour la lumière que pour la vertu motrice, doit être recherchée dans la proportion des cercles eux-mêmes." (cité par Koyré dans La Révolution astronomique)*

Cette action animatrice inversement proportionnelle à la distance au Soleil est l'une de ces conceptions fausses qui guideront l'étrange Kepler dans ses découvertes ultérieures. Mais, dans le cas présent, il croit trouver



une vérification en comparant les vitesses de Mars lors de ses passages au périhélie et à l'aphélie. Dans ces positions, il a raison alors que dans une position quelconque M de la planète c'est à la distance SH du Soleil à la tangente en M qu'il fallait comparer la vitesse comme Newton le démontrera...

Lorsque, plus tard (1603), il découvrira que les orbites sont elliptiques, le recours à une "espèce motrice" lui paraîtra encore plus indispensable puisque celle-ci doit guider la planète à chaque instant en direction et en vitesse. Mais il conservera l'action tangentielle inversement proportionnelle à la distance au Soleil et quand il dira que la nature de cette action est magnétique, cela restera au niveau de l'explication verbale.

Autre étape importante sur le chemin de la mécanique newtonienne, la bonne conception de l'inertie - alors que pour Kepler c'était seulement ce qui empêchait le mouvement. Qui, le premier, a bien dégagé le principe Galilée lorsqu'il expérimente sur la chute des corps en prend certainement conscience. Mais aussi Descartes. Pour l'un comme pour l'autre, c'est bien le principe que nous connaissons tous et que nous reconnaissons dans la Définition III des Principia :

DEFINITION III - La force qui réside dans la matière est le pouvoir qu'elle a de résister. C'est par cette force que tout corps persévère de lui-même dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite.

*Cette force est toujours proportionnelle à la quantité de matière des corps, & elle ne diffère de ce qu'on appelle l'inertie de la matière, que par la manière de la concevoir ; car l'inertie est ce qui fait qu'on ne peut changer sans effort l'état actuel d'un corps, soit qu'il se meuve, soit qu'il soit en repos ; ainsi on peut donner à la force qui réside dans les corps le nom très expressif de force d'inertie.*

*Le corps exerce cette force toutes les fois qu'il s'agit de changer son état actuel, & on peut la considérer alors sous deux différents aspects, ou comme résistante, ou comme impulsive : comme résistante, en tant que le corps s'oppose à la force qui tend à lui faire changer d'état ; comme impulsive, en tant que le même corps fait effort pour changer l'état de l'obstacle qui lui résiste.*

*On attribue communément la résistance aux corps en repos, & la force impulsive à ceux qui se meuvent ; mais le mouvement & le repos, tels qu'on les conçoit communément, ne sont que respectifs : car les corps qu'on croit en repos ne sont pas toujours dans un repos absolu." ((1))*

Huygens a joué aussi son rôle dans ces prolégomènes. Y compris quand il invente le pendule cycloïdal qui est exactement isochrone (et toute la mécanique a besoin de bonnes horloges !). IL publie aussi les règles du choc élastique qui seront utiles dans les développements ultérieurs de la mécanique. Surtout, "prenant une part éminente dans les discussions sur la cause de la pesanteur, il donne corps à la fiction cartésienne des tourbillons par la réalité de la force centrifuge." (Pierre Costabel, notice Huygens, Encyclopaedia Universalis). En 1690, après la révocation de l'édit de Nantes, Huygens a du repartir en Hollande où il publie un Discours sur la cause de la pesanteur, mais alors il est dépassé par Newton.

On retrouve dans les Principia, non la force centrifuge mais la force centripète. Relisons à ce sujet les définitions et certains des commentaires que Newton croit utile d'ajouter :

DEFINITION PREMIERE - La quantité de matière se mesure par la densité & le volume pris ensemble.

*L'air devenant d'une densité double est quadruple en quantité, lorsque l'espace est double, & sextuple, si l'espace est triple. On en peut dire autant de la neige & de la poudre condensées par la liquéfaction ou la compression, aussi bien que dans tous les corps condensés par quelque cause que ce puisse être.*

*Je ne fais point attention ici au milieu qui passe librement entre les parties des corps, supposé qu'un tel milieu existe. Je désigne la quantité de matière par les mots de corps ou de masse. Cette quantité se connaît par le poids des corps : car j'ai trouvé par des expériences très exactes*

sur les pendules, que les poids des corps sont proportionnels à leurs masses je rapporterai ces expériences dans la suite.

DEFINITION II - La quantité de mouvement est le produit de la masse par la vitesse.

Le mouvement total est la somme du mouvement de chacune des parties ainsi la quantité du mouvement est double dans un corps dont la masse est double, si la vitesse reste la même ; mais si on double la vitesse, la quantité du mouvement sera quadruple.

DEFINITION III - (voir plus haut sur la force d'inertie)

DEFINITION IV - La force imprimée est l'action par laquelle l'état du corps est changé, soit que cet état soit le repos, ou le mouvement uniforme en ligne droite.

Cette force consiste uniquement dans l'action, & elle ne subsiste plus dans le corps, dès que l'action vient à cesser. Mais le corps persévère par la seule force d'inertie dans le nouvel état dans lequel il se trouve. La force imprimée peut avoir diverses origines, elle peut être produite par le choc, par la pression, & par la force centripète.

DEFINITION V - La force centripète est celle qui fait tendre les corps vers quelque point, comme vers un centre, soit qu'ils soient tirés ou poussés vers ce point, ou qu'ils y tendent de façon quelconque.

La gravité qui fait tendre tous les corps vers le centre de la Terre; la force magnétique qui fait tendre le fer vers l'aimant, & la force, quelle qu'elle soit, qui retire à tout moment les planètes du mouvement rectiligne, & qui les fait circuler dans des courbes, sont des forces de ce genre.

La pierre qu'on fait tourner par le moyen d'une fronde, agit sur la main, en tendant la fronde, par un effort qui est d'autant plus grand, qu'on la fait tourner plus vite, & elle s'échappe aussitôt qu'on ne la retient plus. La force exercée par la main pour retenir la pierre, laquelle est égale & contraire à la force par laquelle la pierre tend la fronde, étant donc toujours dirigée vers la main, centre du cercle décrit, est celle que j'appelle force centripète. Il en est de même de tous les corps qui se meuvent en rond, ils font tous effort pour s'éloigner du centre de leur révolution, & sans le secours de quelque force qui s'oppose à cet effort & qui les retient dans leurs orbites, c'est à dire, de quelque force centripète, ils s'en iraient en ligne droite d'un mouvement uniforme.

Un projectile ne retomberait point vers la terre, s'il n'était point animé par la force de la gravité, mais il s'en irait en ligne droite dans les cieux avec un mouvement uniforme, si la résistance de l'air était nulle. C'est donc par sa gravité qu'il est retiré de la ligne droite, & qu'il s'infléchit sans cesse vers la terre ; & il s'infléchit plus ou moins, selon sa gravité & la vitesse de son mouvement. Moins la gravité du projectile sera grande par rapport à la quantité de matière, plus il aura de vitesse; moins il s'éloignera de la ligne droite, & plus il ira loin avant de retomber sur la terre.

Ainsi, si un boulet de canon était tiré horizontalement du haut d'une montagne, avec une vitesse capable de lui faire parcourir un espace de deux lieues avant de retomber sur la terre : avec une vitesse double, il n'y retomberait qu'après avoir parcouru à peu près quatre lieues, & avec une vitesse décuple, il irait dix fois plus loin ; (pourvu qu'on n'ait point d'égard à la résistance de l'air), & en augmentant la vitesse de ce corps, on augmenterait à volonté le chemin qu'il parcourerait avant de

retomber sur la terre, & on diminuerait la courbure de la ligne qu'il décrirait ; en sorte qu'il pourrait ne retomber sur la terre qu'à la distance de 10, de 30 ou de 90 degrés ; ou qu'enfin il pourrait circuler autour, sans y tomber jamais, & même s'en aller en ligne droite à l'infini dans le ciel.

Or, par la même raison qu'un projectile pourrait tourner autour de la Terre par la force de gravité, il se peut faire que la Lune par la force de sa gravité, (supposé qu'elle grave) ou par quelque autre force qui la porte vers la Terre; soit détournée à tout moment de la ligne droite pour s'approcher de la Terre, & qu'elle soit contrainte à circuler dans une courbe, & sans une telle force, la Lune ne pourrait être retenue dans son orbite.

Si cette force était moindre qu'il ne convient, elle ne retirerait pas assez la Lune de la ligne droite ; & si elle était plus grande, elle l'en retirerait trop, & elle la tirerait de son orbe vers la Terre. La quantité de cette force doit donc être donnée ; & c'est aux Mathématiciens à trouver la force centripète nécessaire pour faire circuler un corps dans un orbite donné, & à déterminer réciproquement la courbe dans laquelle un corps doit circuler par une force centripète donnée, en partant d'un lieu quelconque donné, avec une vitesse donnée.

La quantité de la force centripète peut être considérée comme absolue, accélératrice & motrice.

Il m'a paru intéressant de reproduire tout au long les commentaires de Newton à sa DEFINITION V car il faudra y revenir. Terminons le parcours des chemins d'approche en allant écouter Hooke qui résume une expérience sur le pendule conique à la Royal Society en 1666. Ce "qui lui permet de démontrer sans contestation possible qu'un corps soumis à l'action constante d'une force centripète, et mis en mouvement par une impulsion tangentielle, décrit autour de ce centre des cercles ou des ellipses, selon que la force d'impulsion est égale ou inégale à celle de l'attraction centripète."(-((3)), p.19). Ce n'est pas de la mécanique céleste, ces ellipses sont décrites autour de leur centre, la force attractive augmente avec la distance, mais la notion de force attractive est là.

Dans un texte de 1674, An attempt to prove the motion of the earth from observations; Hooke formule trois hypothèses : 1°) tous les corps célestes ont une gravitation vers leur propre centre et ils s'attirent les uns les autres ; 2°) la loi d'inertie ; 3°) les forces attractives sont d'autant plus puissantes qu'elle agissent de plus près. Ce qui reste qualitatif. Il précise toutefois : "je suppose que l'attraction est toujours réciproquement doublée de la distance au centre", ce qui est une bonne supposition mais reste une supposition et il en tire fâcheusement : "par conséquent la vitesse sera dans la proportions sous doublée à l'attraction" et il rejoint Kepler en disant la vitesse inversement proportionnelle à la distance.

Newton voit l'erreur de Hooke, n'en dit rien car il déteste la polémique et poursuit solitairement son projet. Nous devons maintenant décrire moins sommairement la genèse de ses découvertes avant d'en analyser l'ampleur. Que le lecteur impatient pardonne cette flânerie sur les chemins d'approche qui nous ont cependant permis de lire déjà quelques premières pages des Principia. L'édition originale s'est étendue de 1686 à 1687, il faudra bien plusieurs numéros des Cahiers pour commémorer ce tricentenaire, si vous n'en êtes pas lassés.

(à suivre)

K.Mizar

## LECTURES POUR LA MARQUISE et pour ses amis

---

Dans cette rubrique, un décalage chronique est inévitable : pour le cahier automnal, il faut écrire en été sur des lectures qui datent du printemps. Ainsi n'est-on à l'affût de l'actualité littéraire qu'à retardement. Pourtant, un lecteur nous propose d'être encore plus inactuel dans un article qu'il signe "la marmotte". Souhaitons que, même lorsqu'elle hibernera, la marmotte gardera les doigts assez agiles pour tenir la plume.

---

### FORMIGUERES 85

Le compte rendu de l'Université d'été d'astronomie Formiguères 1985 vient de paraître ; il représente un volume de 1960 cm<sup>3</sup>, -j'ai mesuré- ou si vous préférez deux litres de bonne astronomie à quelques gouttes près. Manière quantitative d'apprécier l'ouvrage qui est évidemment tout à fait dérisoire, il faut savourer le contenu sans compter les gouttes toutes savoureuses.

Dans la première partie, celle des cours du matin, à côté des sujets classiques - repérage spatial et temporel (Jacques Dupré), structure interne et évolution stellaire (Lucette Bottinelli), les galaxies (Lucienne Gouguenheim) - des sujets renouvelés tel les galaxies dans le domaine invisible (Florence Durret) au augmenté tel Relativité et cosmologie dans lequel Béatrice Sandré a complété son exposé sur les vérifications observationnelles de la théorie d'Einstein. J'ai trouvé un intérêt tout particulier à l'exposé sur les couleurs en astronomie par Michèle Gerbaldi, une étude sur le mécanisme de la vision, la colorimétrie, la photographie en couleur, la couleur des étoiles.

Quatre groupes de travail ont rédigé des notes fort instructives : étude de la galaxie IC 5063 à noyau actif, l'aberration de la lumière (y compris en relativité restreinte), le calcul des durées d'un voyage aller-retour de la Terre jusqu'à Proxima Centauri (paradoxe des jumeaux), l'Univers inflationnaire.

Enfin quatorze comptes rendus d'ateliers qui vont du planétaire géocentrique, du lunoscope et de la sphère céleste mobile à la spectroscopie stellaire ou solaire. Sans oublier de belles photographies qui témoignent de la qualité des travaux astronomiques et de la bonne humeur des participants. Ce que confirment les discours de clôture à plusieurs voix faisant discrètement allusion aux éventuelles hypothétiques subventions que le MEN (lisez Ministère de l'Education Nationale) devrait ou pourrait peut-être accorder à l'Université d'été du CLEA. (Une donnée à connaître et faire connaître à ce sujet : en 1984, 11% des crédits du MEN pour les universités d'été ont été affectés à des initiatives associatives qui ont assuré 30% des journées stagiaires réalisées ; coût de revient de ces universités d'été de type associatif, 46 F par journée stagiaire alors que pour les autres universités d'été le coût était de 315 F : presque sept fois moins cher dans le premier cas qui est celui de Formiguères. Si vous rencontriez le Ministre des Finances, vous ne manqueriez pas de lui glisser ces données à l'oreille?)

---

### STEIGE 85

En juillet 1985, pour la première fois, le groupe de l'Observatoire et du Planétarium de Strasbourg animé par Agnès Acker a fait un doublet au CLEA en organisant une école d'été d'astronomie au col de Steige, dans les Vosges. Le compte rendu représente cent pages très denses qui traitent de tous sujets, depuis les lois de Kepler, les éclipses ou le point astronomique jusqu'à la construction du lunophasé et les problèmes du calendrier par J.-P. Parisot. En même temps que ce compte rendu, l'Observatoire de Strasbourg édite un très complet CATALOGUE DES DOCUMENTS ASTRONOMIQUES diffusés par

les observatoires français, catalogue réalisé par Eliane Legrand. Le commander à l'Observatoire astronomique, rue de l'Observatoire, 67000 Strasbourg.

#### GALILEE HERETIQUE

Un livre de Pietro Redondi, traduit de l'italien par Monique Aymard, "Bibliothèque des Histoires", 448 p, éd Gallimard (150 F).

Tout ce qui concerne Galilée est passionnant, tant sa personnalité et son oeuvre le sont. De plus, son injuste condamnation n'aura jamais fini de nous indigner. Mais si nous apprenons, grâce aux savantes recherches de Pietro Redondi que la peine infligée à Galilée aurait pu être pire que la réclusion à vie, qu'il aurait pu, comme Giordano Bruno quelques années auparavant, périr sur le bûcher, nous ne savons plus comment exprimer notre mépris pour ses juges indignes et nous sommes encore plus intéressés par l'ouvrage qui nous révèle les dessous de l'affaire.

La thèse en quelques lignes que vous trouverez peut-être trop longues, mais il n'est pas possible de faire plus bref. En 1610, Galilée a publié Le Messager céleste qui exposait ses découvertes réalisées avec la lunette. Aussitôt, la gloire. Son discours sur des problèmes d'hydrostatique confirme sa conception d'une philosophie de la nature qui entraîne sa dénonciation auprès de la congrégation de l'Index. Dans sa polémique, car il adore la polémique et il y excelle, avec le Jésuite Scheiner sur la priorité de la découverte des taches du Soleil, il précise sa pensée : "Dans les sciences, l'autorité de mille personnes vaut moins qu'une étincelle de raison d'une seule" (et vlan pour le principe d'autorité !). Mieux encore : "L'écriture sacrée et la nature procédant du même Verbe divin, celle-là comme dictée par le Saint-Esprit et celle-ci comme très respectueuse exécutrice des ordres de Dieu", l'office des savants est de trouver le véritable sens des passages sacrés en concordance avec les conclusions naturelles de l'observation et de la raison. Ce qui est bien distinguer les domaines de la foi et de la science en même temps qu'une suggestion pour bien comprendre les textes sacrés. En tout cas, quand, en 1616, le Cardinal Bellarmín transmet à Galilée la décision du Saint-Office, c'est à dire de l'Inquisition, il est seulement invité à ne plus défendre et soutenir les théories qui contredisent les Ecritures. On imagine pourtant ce qu'il devait penser des conclusions du Saint-Office : que la doctrine héliocentriste est stupide et absurde en philosophie et formellement hérétique, que la doctrine du mouvement de la Terre est erronée ! Mais sa réputation le sauve de toute condamnation. Provisoirement...

Car le parti Jésuite veille et Galilée, champion de l'Académie des Lincei de Florence, est un défi permanent pour le Collège Romain, l'institution majeure des Jésuites.

Les trois comètes de 1618 sont l'occasion d'une malencontreuse polémique, les positions de Galilée et de ses adversaires s'y trouvent bizarrement inversées. Le Jésuite Horatio Grassi a repris les conclusions de Tycho Brahé qui affirment que les comètes sont des phénomènes célestes. Galilée, à tort, s'acharne à n'y voir que des phénomènes atmosphériques. Il fait d'abord répliquer à Grassi par un de ses disciples puis il participe directement à la polémique avec sa fougue et son grand talent d'écrivain, c'est le SAGGIATORE (L'Essayeur) qui paraît en 1623, connaît un immense succès et qui élargit le sujet d'une façon qui va s'avérer fort dangereuse...

Entre temps, Bellarmín est mort et quelques mois avant la parution du SAGGIATORE, la mort du Pape Grégoire XV met fin à vingt ans de prédominance espagnole à Rome. Le Cardinal Barberini qui devient pape sous le nom d'Urbain VIII est ouvert aux idées nouvelles et il estime particulièrement Galilée. S'ouvre donc une ère nouvelle, "admirable conjoncture" dit Redondi, qui donne confiance à Galilée.

Mais les Jésuites ne désarment pas. Ils restent fidèlement attachés aux décisions du Concile de Trente qui proclamaient, entre autres gentilles-  
ses, que les livres étaient les véhicules de l'infection hérétique en pays catholique. Le SAGGIATORE est bien dans ce cas ; entre autres idées "dangereuses", il développe celle de la perception des phénomènes au moyen de ce qu'il appelle des "minima" ou des "particules minimales" qui sont un peu ce que Anaxagore ou Démocrite, ces païens, appelaient "atomes". Aux yeux des Jésuites qui à l'époque souffrent d'une myopie physique congénitale, c'est incompatible avec le dogme de l'eucharistie, les particules minimales resteraient présentes dans l'hostie consacrée qui ne serait donc pas de la chair divine. Le SAGGIATORE est donc le type même du livre dévastateur, il attaque le principe de l'autorité dogmatique, l'accord obligé avec la tradition, l'inextricable connexion entre la raison et la foi. Galilée devait être condamné..

Le Pape Barberini ne peut donc éviter le procès, il se contente de bien choisir les juges et de limiter l'accusation aux idées coperniciennes car il conserve son estime à Galilée et il veut lui éviter le bûcher...

J'ai résumé ce gros livre passionnant. Pietro Redondi a pu accéder à des documents jusque là inaccessibles. Grâce à quoi, comme on l'a dit à propos d'une autre affaire, "la vérité est en marche". Réjouissons-nous, a posteriori, que Galilée ait échappé à la mort en 1633 puisque son DIALOGUE DES GRANDS SYSTEMES de 1632 put être suivi du DISCOURS DES SCIENCES NOUVELLES qui parut à Leyde en 1638. Au moins, dans les tristes dernières années de sa vie, Galilée put-il vérifier que rien ni personne ne peut empêcher la pensée libre.

#### CALCULS ASTRONOMIQUES

à l'usage des amateurs par Jean Meeus, trad; de l'anglais par Philippe Wallach ; 150 p ; éd Société Astronomique de France (70 F).

L'ouvrage, sous le titre "Astronomical formulae for calculators" a d'abord paru en anglais, en Belgique. L'Auteur en avait autorisé la traduction et la publication en feuilleton dans L'Astronomie. Le présent volume réunit les 36 chapitres qui étaient dispersés sous une forme qui en rend plus aisée l'utilisation. Tous les sujets importants sont traités, depuis la date de Pâques, la précession, la nutation jusqu'aux éclipses et aux positions des satellites de Jupiter. Un petit livre à la portée de tous les amateurs, y compris de ceux qui ont une simple calculette.

#### ASTROPHYSIQUE - METHODES PHYSIQUES DE L'OBSERVATION

par Pierre Léna, collection "Savoirs actuels", 378 p ; Interéditions/éd du CNRS ; 200 F.

Voici un livre d'un niveau élevé qui servira de référence comme l'ASTROPHYSIQUE GENERALE de J-C. Pecker et E. Schatzman qui date déjà de 1959, et en un quart de siècle, il y a eu du nouveau dans les méthodes de l'observation. La conception du livre est marquée par cette évolution. En témoignent les titres des chapitres : 1. L'information en astrophysique ; 2. L'atmosphère terrestre ; 3. Photométrie ; 4. Mesure et traitement du signal ; 5. Les récepteurs de l'information ; 6. Images ; 7. Analyse spectrale. Imaginez, sans aller très loin, ce qu'un astronome comme Janssen aurait pensé en lisant ce sommaire...

#### Ce que publient les amis du CLEA

Il est plaisant de recevoir de si nombreux témoignages de l'activité des amis du CLEA. Avec toutefois l'inquiétude d'omettre, par mégarde, certains d'entre eux. Que les Collègues dont j'aurais ainsi méconnu le travail n'hésitent pas à m'écrire, rectification sera faite au prochain Cahier.

- = Les comètes et la comète de Halley, une brochure de 36 pages réalisée au Collège Jean Lurçat de Brive par Marie Astruc et ses élèves dans le cadre d'un PAE qui a mobilisé aussi un angliciste et un musicien.
- = L'Association des Planétariums de langue française, dans sa réunion du 8 mai 1986 au Palais de la Découverte a permis un échange d'informations entre planétariums en activité ou en projet à Reims, La Villette, St Etienne, Musée de l'Air du Bourget, Chamuse (Montana-Valais), Toulouse, Palais de la Découverte, Côtes du Nord, Collège Valeri (Nice), Nîmes, Méribel, Strasbourg
- = Thèmes et activités astronomiques à l'école élémentaire par Pascal Piveron, une brochure de 96 pages éditée par l'IREM de Limoges. Un travail sérieux et ambitieux ; exemple : faire comprendre gravitation et force centrifuge à des élèves du Cours Moyen.
- = Astronomie en Terminale, une brochure de 200 p réalisée par le groupe astronomie de l'IREM de Limoges dans la perspective de l'option Astronomie en Terminale A2. Une large place est faite à l'histoire de l'astronomie, de Ptolémée à Römer ; avec la forte collaboration de Christian Dumoulin.
- = Pégase n°4, revue de l'Association Astronomique d'Anjou donnait des indications pratiques pour les observations estivales.
- = L'Echo d'Orion (Laxou-Nancy) fête son vingtième anniversaire et rend compte du travail d'une équipe au T 60 du Pic du Midi.

G.W.

#### LECTURES INACTUELLES

Pourquoi ne s'intéresser qu'aux publications les plus récentes ? Comme tout le monde, je suis attiré par les nouveautés qui sont nombreuses et attrayantes en astronomie, mais il y a toujours du neuf à pêcher dans les ouvrages anciens ou moins récents. J'avoue avoir du goût pour ces découvertes à retardement.

+++ Le livre de Harwit, Progrès et découvertes en astronomie (Masson, 1984) a été seulement signalé dans le Cahier 24. C'est un ouvrage qui me fait beaucoup rêver, il pose les questions essentielles : pourquoi telle découverte à telle époque ? Pourquoi, à telle époque se posait-on telle question ? On pense aussitôt à Bradley qui cherchait à mesurer une parallaxe stellaire et découvrit l'aberration de la lumière, la première preuve irréfutable du mouvement de translation de la Terre. Beaucoup à dire sur le passé mais Harwit voit loin quand il se demande quelles grandes découvertes restent à faire. La recherche en astronomie n'a pas le caractère fini, limité du roman policier dans lequel on sait qu'il y a un assassin, l'Univers offre une autrement riche forêt de phénomènes à découvrir, à comprendre. Pensez à la découverte inattendue des quasars... Je me distille la lecture du Harwit, écrit pour les spécialistes mais qui donne beaucoup à penser à ceux qui ne le sont pas.

+++ Il y a longtemps que je voulais m'abonner à La Vie des Sciences, la revue de l'Académie des Sciences. Cette vénérable institution, qui a tendance, reconnaissons-le, à mettre ses montres à l'heure, a eu l'heureuse idée de publier une "série générale" de ses Comptes Rendus qui contient de vrais articles qui sont des mises au point sur des sujets importants. Exemple, dans ce n°1 du tome 3 (janvier-février 1986), les trois excellents articles sur la comète de Halley, son orbite par Bruno Morando, son observation par Thérèse Encrenaz, son histoire par Philippe Véron. ON a tellement écrit sur la comète que je m'apprêtais à ne pas les lire ; j'aurais eu bien tort, c'est du solide avec de très bonnes illustrations (il faut dire que l'Académie a plus de moyens pour cette revue que le CLEA pour ses Cahiers !) Véron donne de bien savoureuses citations comme cette affiche pour une réunion de l'Association Gnostique, le 27 septembre 1985 sur la comète de Halley et ses influences psychologiques...

Dans le n°2 du vol 3, J-L. Atteia et K. Hurley étudient "Les sursauts gamma cosmiques". Leur localisation pose un bien joli problème de triangulation. Un sujet d'étude qui confirme bien les thèses de Harwit sur les vastes domaines inconnus de l'Univers.

Revenons aux choses sérieuses, "back to brass tacks" comme on dit si curieusement en anglais et vous allez voir pourquoi j'étale si peu modestement mais maigres connaissances en anglais. Paul Germain, Secrétaire perpétuel de l'Académie publie dans ce numéro 2 sa communication à la séance du 2 décembre 1986 : "Le français peut-il encore être une langue d'expression scientifique ?" Ce n'est pas ici la place d'en discuter tous les aspects mais tous les amateurs et professionnels de l'astronomie qui sont si souvent aux prises avec une documentation en anglais sont très concernés par le sujet très complètement développé ici.

+++ Un ami me fait lire De la Nature de Lucrèce, dans la traduction Cloard (éd Garnier-Flammarion. Un texte que je n'aurais pas du ignorer si longtemps. Je prends plaisir à vous recopier un paragraphe du livre premier :

"L'univers total n'est donc limité nulle part ; autrement, il aurait une extrémité. Or est-il une extrémité possible sans que quelque chose constitue une limite, pour qu'apparaisse le point où notre regard cesse de suivre ? Et comme hors de l'ensemble des choses il n'y a rien, convenons-en, notre univers n'a point d'extrémité, donc point de limite ni de mesure. Peu importe la position qu'on y occupe : toujours, de tous côtés, à partir de chaque position, le tout immense s'étend à l'infini." (p.43)

La marmotte

---

## LE COURRIER DES LECTEURS

---

### La queue de la comète

Si l'on entend par là tout ce qui a été écrit ou réalisé à propos de la comète de Halley, on peut dire que cette queue de comète est fort longue et très variée dans sa composition. Citons ce que nous en connaissons :

- la belle brochure éditée par Maurice HENRY au lycée professionnel de Cluny à Fort de France en Martinique ;
- le succès de l'exposition Halley 86 au LTE Condorcet de Montreuil ss Bois ;
- l'exposition "Halley la classe !" à l'hôtel de ville de Fontenay ss Bois ;
- l'exposition et la série de conférences organisées à la MJC Belle Etoile d'Epinal (son animateur Jean-Yves MARCHAL nous promet un reportage sur les visites astronomiques qu'il doit faire au Canada).

### La Fédération d'Astronomie Populaire Amateur du Midi

Elle regroupe huit clubs fondateurs dont la Société Astronomique de l'Hérault et l'Association Astronomique Universitaire de Perpignan ainsi qu'une dizaine d'autres clubs. Elle a organisé les 28 et 29 juin 1986 à Estagel, un grand rassemblement "Halley-Arago". Estagel, le pays natal d'Arago...

### L'Observatoire de St Véran

a été le lieu d'un stage qui, en 1985, a réuni treize enseignants sur vingt-six stagiaires. Le ciel pur des Hautes-Alpes avait permis de prendre de belles photos astronomiques. Et en 1986 ?

### Apphélie et périhélie

Ne pas les confondre, nous écrit Jacques Vialle qui trouve dans La Nouvelle République du Centre-Ouest du 1 et juillet 1986 l'annonce que la Terre devait passer au périhélie le 5 du mois. Regrettable lapsus, en effet. Sachant que la ligne des apsides se décale de 11" par an vers l'Est et que la précession décale ce même axe de 50" par an vers l'Ouest, Jacques Vialle nous demande de calculer quand l'annonce de son journal

sera vraie ; quel sera alors le numéro de La Nouvelle République ?

### Astronomie spatiale

L'Institut d'Astronomie de l'Université de Lausanne et l'Observatoire de Genève organisent un séminaire à l'intention des professeurs de l'enseignement secondaire, le samedi 8 novembre 1986, de 9 h à 13 h, bâtiment des Sciences Physiques, UNIL, DORIGNY.

Programme : Introduction (B.Hauck), astronomie infrarouge (J-M.Kern), astronomie X (E.Lindemann), Hipparcos et le télescope spatial (B.Hauck), les projets de l'ESA (M.Mayor).

---

## La chronique du CLEA

---

Pour l'histoire de l'astronomie

=====  
"Histoire passionnante, celle des efforts de l'esprit humain, de ses réussites et de ses échecs, pour formuler des idées nouvelles et étranges et pour construire, ou, comme l'a si justement dit Spinoza, pour FORGER les outils et les modèles nouveaux de la pensée et de la compréhension."  
Alexandre Koyré (Etudes newtoniennes, p.32)

Qu'il y ait souvent intérêt, dans l'enseignement de l'astronomie, à situer l'acquisition des notions fondamentales ou les grandes découvertes dans leur déroulement historique, il est facile d'en convenir. Mais l'enseignant dispose-t-il de documents utilisables pour répondre à toutes les questions qui lui sont posées, aussi bien en classe qu'en activité de club ? Même si des articles dans les Cahiers Clairaut ont amorcé cette documentation, on est encore loin de compte.

L'idée est ainsi venue de regrouper les efforts des membres du CLEA intéressés par la préparation et l'édition de tels documents. Le groupe de travail qu'ils constitueraient pourrait fonctionner principalement par correspondance, une réunion pouvant avoir lieu lors de l'AGduCLEA.

Son objectif, qui sera précisé par le groupe lui-même lorsqu'il sera constitué pourrait comporter :

- la préparation de morceaux choisis commentés des grands auteurs ;
- la réalisation de documents pouvant servir à des exposés sur l'histoire de l'astronomie ;
- la réalisation de chronologies sur des thèmes divers (sur tel astre, sur telle notion, tel astronome, telle époque, ...)

Les travaux du groupe pourraient donner lieu à des articles dans les Cahiers Clairaut soit même à la réalisation d'une brochure du type des fascicules pour la formation des maîtres du Laboratoire d'Astronomie de l'Université de Paris XI-Orsay.

LECTEURS DES CAHIERS CLAIRAUT, que pensez-vous de cette proposition ? Quelles critiques apportez-vous au présent texte, dans son ensemble ou sur telle partie ? Quelles propositions complémentaires formulez-vous ,

Adressez vos réponses au secrétaire du CLEA, Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 St-Cloud qui les transmettra rapidement à K.Mizar, initiateur du projet.

LES COUCHERS DE VENUS

Dans le n°29 des CC à la page 35, je posais une question concernant le coucher de la planète Vénus. Voici les résultats d'une réflexion menée à ce sujet.

1. Passages au méridien et couchers

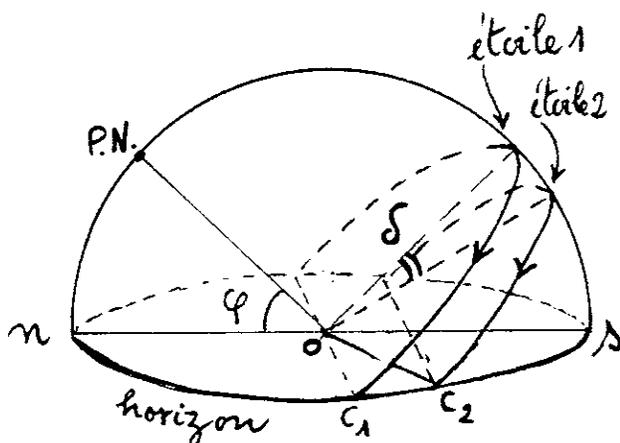


fig 1

La figure 1 représente sur la sphère céleste les trajectoires de 2 étoiles de déclinaisons différentes. Si les ascensions droites sont les mêmes, alors les passages au méridien d'un lieu se font au même instant. Par contre, les couchers ne seront pas simultanés.  $C_2$  est atteint avant  $C_1$  et l'étoile 2 se couche avant l'étoile 1. Le schéma montre clairement que la différence des heures de coucher en un lieu donné ne dépend que des déclinaisons des deux étoiles. Seules exceptions: à l'équateur où les couchers sont simultanés et aux pôles où il n'y a pas de couchers ( figures 2 et 3 ).

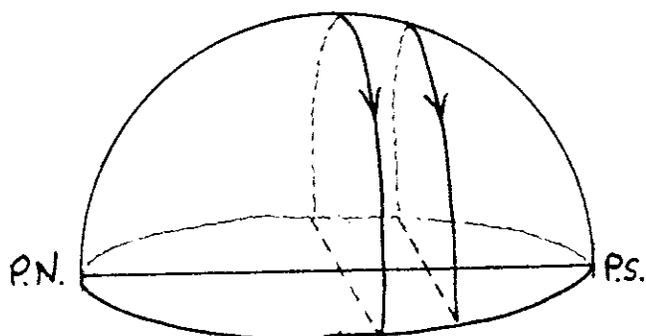


fig 2

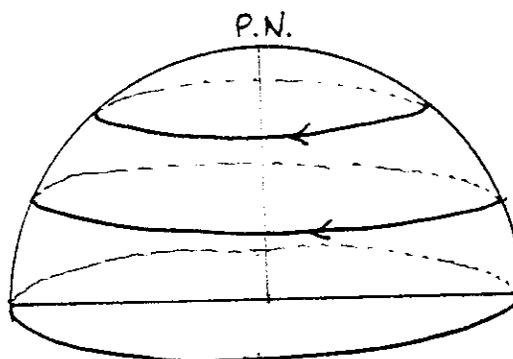


fig 3

2. Instant du coucher

Revenons chez nous ( fig 1 ). Un astre de déclinaison  $\delta$  et d'ascension droite  $\alpha$  se couche à l'instant où son angle horaire  $H$  est tel que  $\cos H = -\tan \varphi \times \tan \delta$  et l'instant du coucher est  $T$  tel que  $T = \alpha + H$  ( voir par exemple CC n°23 page 37 ).

Si on considère maintenant 2 astres qui seront le Soleil et Vénus et dont les angles horaires au coucher sont respectivement  $H_1$  et  $H_2$  alors  $\cos H_1 = -\tan \varphi \times \tan \delta_1$  pour le Soleil  
 $\cos H_2 = -\tan \varphi \times \tan \delta_2$  pour Vénus

On en déduit les différences des instants des couchers ( ici S est en avance sur V ) :

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (\alpha_2 - \alpha_1) + (H_2 - H_1) = \Delta \alpha + \Delta H$$

Les deux exemples suivants sont des applications particulièrement éloquentes:



exemple 1: le 22 janvier 1985  
 au Mans ( $\varphi = 48^\circ$ )  
 on obtient:  
 $\Delta T = \Delta \alpha + \Delta H = 3h02m + (85,58 - 66,75)/15 = \underline{4h17m}$

exemple 2: le 26 août 1986  
 on obtient:  
 $\Delta T = \Delta \alpha + \Delta H = 2h43m + (79,87 - 101,68)/15 = \underline{1h16m}$

Et pourtant, dans les deux cas envisagés, Vénus se trouvait à  $46^\circ$  à l'Est du Soleil (élongation du soir)... Il m'a semblé intéressant de faire une étude plus générale.

### 3. Vénus en avance ou en retard?

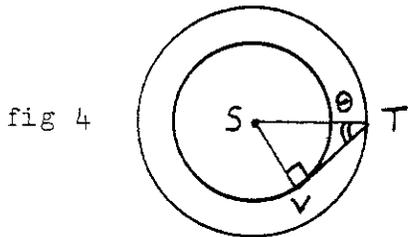


fig 4

En négligeant l'inclinaison de l'orbite de Vénus sur le plan de l'écliptique, il est possible de faire une étude graphique très simple. Nous la limiterons aux périodes voisines des élongations du soir (fig 4) et en un lieu de latitude  $48^\circ$ . On a  $SV = 0,723$  UA et  $ST = 1$  UA; ainsi  $\sin \theta = 0,723$  et  $\theta \approx 46^\circ$  ce qui correspond sensiblement à  $\Delta \alpha = 3h$

Nous distinguerons 3 cas:

- Vénus effectue un "coucher normal" si  $\Delta H = 0$  donc si les déclinaisons de V et de S sont les mêmes. Ce coucher se produit 3h après celui du Soleil.
- Vénus se couchera avec un retard maximal que nous appellerons un "coucher retard" si  $\Delta H$  est maximal au moment où  $\Delta \alpha = 3h$ ; c'est le cas si la différence des déclinaisons est la plus grande possible avec  $\delta_2 > \delta_1$ .
- Vénus se couchera avec un retard minimal, donc fait un "coucher avance" dans des conditions opposées au cas précédent, différence minimale pour les déclinaisons, et donc  $\delta_2 < \delta_1$ .

### 4. Positions relatives de Vénus et du Soleil sur l'écliptique

Le graphique montre l'écliptique et quelques positions remarquables du couple Soleil-Vénus. Dans tous les cas  $\alpha_2 - \alpha_1 = 3h$  et V est à gauche de S. L'observation attentive du graphique permet de situer les 3 cas signalés:

a. "coucher normal" pour  $\alpha_1 = 4h30m$   $\alpha_2 = 7h30m$   $\delta_1 = \delta_2 = 21^\circ 50'$   
 ou encore pour  $\alpha_1 = 16h30m$   $\alpha_2 = 19h30m$   $\delta_1 = \delta_2 = -21^\circ 50'$   
 Cela est possible en juin ou en décembre.

b. "coucher retard" pour  $\alpha_1 = 22h30m$   $\alpha_2 = 1h30m = 25h30m$   
 $\delta_1 = -9^\circ 25'$   $\delta_2 = 9^\circ 25'$

Le calcul donne  $\Delta T = 4h25m$  et cela peut se produire en février.

c. "coucher avance" pour  $\alpha_1 = 10h30m$   $\alpha_2 = 13h30m$   
 $\delta_1 = 9^\circ 25'$   $\delta_2 = -9^\circ 25'$

Le changement de signe de  $\Delta H$  donne ici  $\Delta T = 1h35m$  et cela est possible en août. C'est le cas en 1986.

## ABAQUE DE TEMPS SIDERAL

### Présentation

- A droite, l'échelle de temps universel  $t$  graduée en quarts d'heure,  $t$  croissant de 24 h de haut en bas.
- A gauche l'échelle de temps sidéral de Greenwich  $T_0$  analogue à la précédente ;  $T_0$  croît de 24 h de bas en haut.
- Au centre, l'échelle des jours graduée de dix jours en dix jours sauf du 27 décembre au 1<sup>er</sup> janvier) sur un peu plus de deux ans.

### Emploi

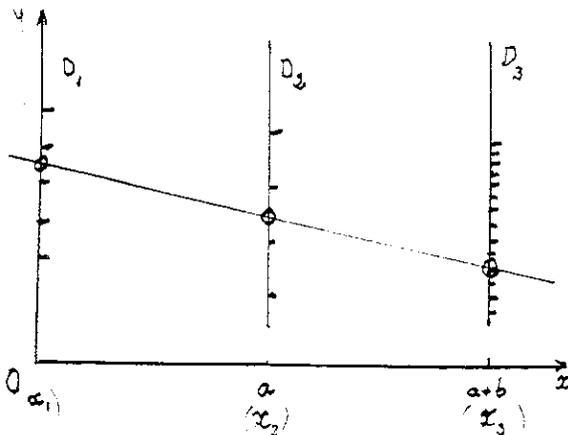
Pour trouver, par exemple,  $T_0$  le 19 aout à 20 h 45 UT, on aligne avec une règle les points  $t = 20$  h 45 et 19 aout :  $T_0 = 18$  h 30 est lu sur le prolongement de la règle. La précision est limitée mais supérieure au quart d'heure.

En fait, on cherche plutôt  $T_\lambda$  (temps sidéral pour un lieu de longitude  $\lambda$  au temps légal  $t'$  indiqué par la montre. Le passage de  $t'$  à  $t$  est simple  $t = t' -$  un nombre entier d'heures (en France, l'été  $t = t' - 2$ h, l'hiver  $t = t' - 1$ h). Le passage de  $T_0$  à  $T_\lambda$  l'est également  $T_\lambda = T_0 - \lambda$  (Brest = + 18 min ; Paris = - 9 min ; Nice = - 29 min)

On pourrait d'ailleurs construire facilement deux abaques donnant  $T_\lambda$  l'été et l'hiver pour un lieu donné.

### Les abaques à trois droites parallèles

Lorsqu'il existe une relation de la forme  $f_1(u_1) + f_3(u_3) = f_2(u_2)$  entre trois variables  $u_1$ ,  $u_2$ , et  $u_3$ , il est possible de déterminer graphiquement à l'aide d'une abaque à trois droites parallèles l'une des trois variables connaissant les deux autres.



- Pour cela on gradue :
- la droite  $(D_1)$   $x_1 = 0$  en  $u_1$  d'après  $y_1 = m f_1(u_1)$ ,  $m$  étant un facteur d'échelle constant arbitraire ;
  - la droite  $(D_2)$   $x_2 = a$  en  $u_2$  d'après

$$y_2 = m \frac{b}{a+b} f_2(u_2)$$

- la droite  $(D_3)$   $x_3 = a+b$  en  $u_3$  d'après

$$y_3 = m \frac{b}{a} f_3(u_3)$$

Si les points  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$  sont l'égalité  $(y_3 - y_1)/(x_3 - x_1) = (y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$

entraîne  $f_1 + f_3 = f_2$  comme on le vérifiera

facilement. Pour construire l'abaque, on dispose donc de trois paramètres  $a$ ,  $b$  et  $m$ .

### Application à l'abaque de temps sidéral

$T_0(t, n, a)$  est le temps sidéral de Greenwich à  $t$  (heure UT, le jour  $n$  de l'année  $a$ ). Les éphémérides astronomiques donnent pour chaque jour de  $a$  les 365 (ou 366) valeurs de  $T_0(0, n, a)$ .

Par exemple  $T_0(0, 1, 1986) = 6$ h 41 min 24 s = 6,6900 h en employant les heures décimales :

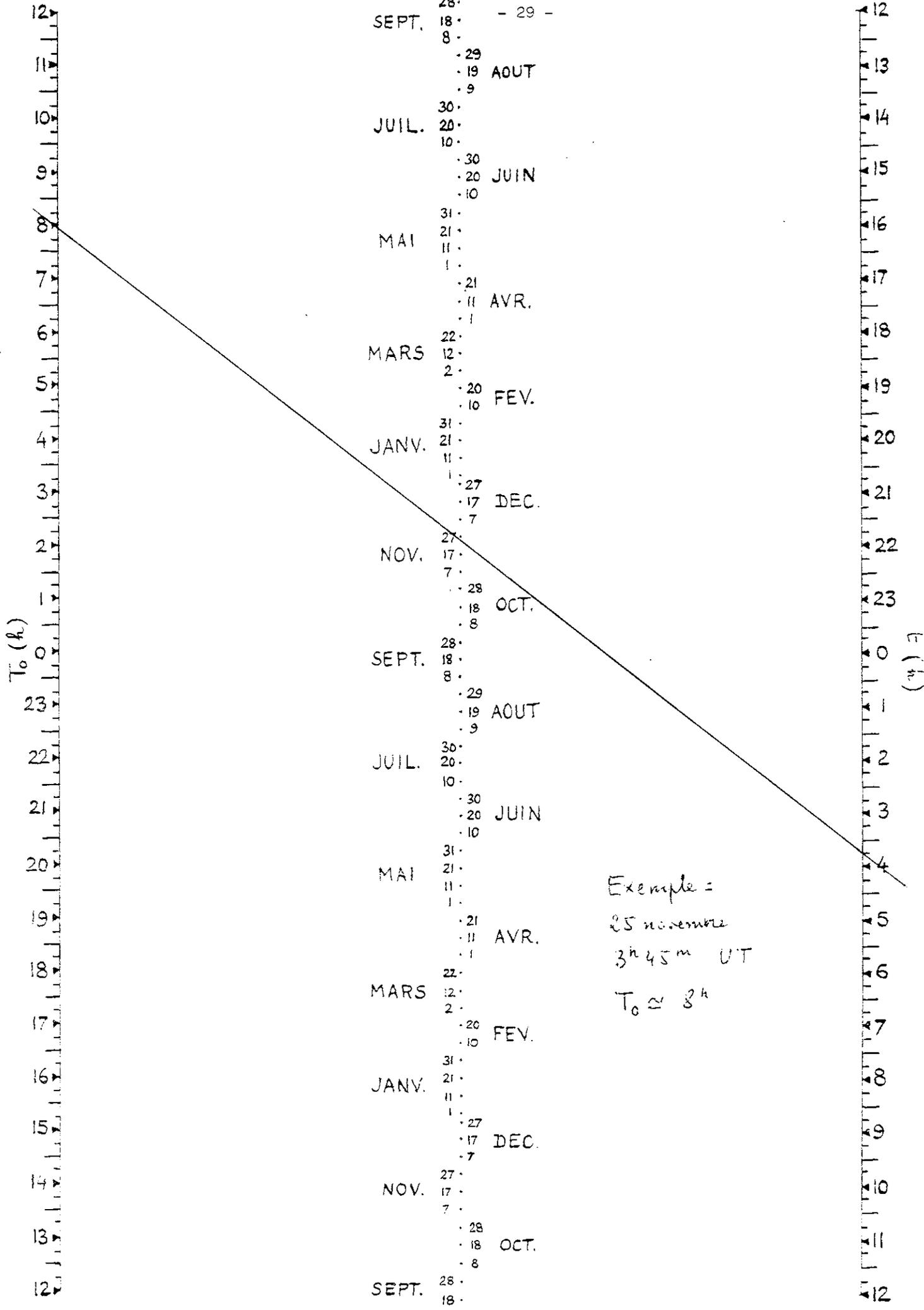
$$T_0(t, n, a) = T_0(0, 1, a) + (1 + \mathcal{E})t + 24(1 + \mathcal{E})(n-1)$$

avec  $\mathcal{E} = 2,7379 \cdot 10^{-3}$  d'après  $1 + \mathcal{E} = 86400,00/86164,09 \approx 366,2422/365,2422$

Tenant compte du mode 24 h :

$$T_0(t, n, a) = T_0(0, 1, a) + (1 + \mathcal{E})t + 24\mathcal{E}(n-1)$$

Cette expression amènerait, en toute rigueur à construire un abaque pour chaque année (comme pour la courbe de l'équation du temps). Cependant  $T_0(0, 1, a)$



Exemple =  
 25 novembre  
 3h 45m UT  
 $T_0 \approx 8^h$

varie peu avec a (au plus de 0,05 h ou 3 minutes d'une année à l'autre). La variation étant presque imperceptible sur l'abaque, on peut supposer désormais  $T_0(0,1,a)$  indépendant de a et l'écrire  $T_0(0,1)$  en prenant  $T(0,1) = 6,69$  h valeur pour une année "commune" intermédiaire entre deux années bissextiles (comme 1986). Dès lors, on a :

$$T_0(t,n) = 6,69 + (1 + \xi)t + 24\xi(n-1)$$

à résoudre par abaque à trois droites parallèles qui restent à disposer et à graduer. J'ai choisi :

$$\frac{T_0}{f_1(T_0)} + \frac{[-(1+\xi)t]}{f_3(t)} = \frac{6,69 + 24(n-1)}{f_2(n)}$$

avec a = b = 9 cm pour utiliser la largeur de la feuille A4.

Pour loger  $\Delta T_0 = 24$  h, je disposais des 19,7 cm de la feuille ; j'ai donc pris  $y_1 = mT_0$  avec  $m = 12$  mm/h ou 1 mm/5 min

Une fois les choix de a,b,m faits, il en résulte :

$$y_3 = -12(1+\xi)t \text{ soit pratiquement, vu la petitesse de } \xi, y_3 \approx -12t$$

$$\text{et } y_2 = 6 [6,69 + 24\xi(n-1)] \text{ soit pour } n=1 \quad y_2 = 40,1 \text{ mm}$$

$$\text{et pour } n = 10 \quad y_2 = 3,94 \text{ mm}$$

Pour éviter de "sortir" de l'abaque, on utilise les valeurs négatives de n (modulo 365) ; par exemple, pour le 7 novembre (n=311), on prend n=-54

L'abaque donne des résultats comparables à ceux obtenus avec des disques concentriques mobiles, tout en étant de construction plus simple.

A.BURILLON (retraité)

\* \* \* \* \*

STAGE D'ASTRONOMIE A L'UNIVERSITE PARIS XI-ORSAY

Nous avons déjà présenté dans le numéro 33 des Cahiers les deux stages d'Astronomie organisés par l'équipe d'astronomie d'Orsay.

Nous revenons sur le premier stage: "Astronomie, découverte du Ciel", qui se déroulera sur 12 semaines entre le 8 Octobre 1986 et le 14 janvier 1987, le mercredi après-midi, de 14h à 17H. Tout en étant en partie similaire aux stages d'Initiation à l'Astronomie proposés les années précédentes, il en diffère en ce sens qu'il propose des activités nouvelles. En particulier, il est prévu deux conférences données par Gilbert Walusinski sur des sujets historiques: l'une portera sur Kepler et l'autre sur Newton. Par ailleurs, nous envisageons quelques nouveaux Groupes de Travail et Ateliers relativement simples, comme le calcul de la durée du jour solaire sur Mercure, la construction de l'orbite de Mercure, celle de l'orbite d'un satellite artificiel, une petite maquette permettant de calculer les fuseaux horaires ainsi qu'un petit programme sur calculatrice de poche permettant de se représenter les constellations telles qu'on les voit depuis une étoile telle que Véga.

Le stage peut donc intéresser des collègues qui avaient suivi les précédents et épuisé les possibilités offertes!

Toute demande d'information et d'inscription est à adresser à L. Gouguenheim Université Paris XI - Centre d'Orsay, Laboratoire d'Astronomie, Bât. 470 91405 ORSAY CEDEX. Merci à l'avance de bien vouloir joindre une enveloppe timbrée pour la réponse.

ALORS ... RACONTE ...

J'avais bien cru la voir en arrivant à Djibouti; nous faisons escale, c'était l'aurore, et à ma montre il était encore plus tôt ... " C'est pas vrai ! Mais elle est fabuleuse !" et je secoue mes voisins encore mal réveillés . Ma copine doute, mon mari trouve que c'est bizarre, cette queue qui n'est pas du tout à l'opposé du Soleil, ce ne serait pas plutôt un reflet dans ton hublot ? C'est précisément le panneau lumineux "Fasten seat belt" qui me fait comme une comète dans le Soleil levant . Ma comète disparaît et le voyage rêvé commence .

Nous étions en route pour la Réunion, avec un groupe comprenant une centaine de personnes; le voyage était organisé -très bien- par une association bien connue qui édite une belle revue bimestrielle d'astro bien illustrée . Le prix ( 3000 F ), imbattable, incluait le voyage, 10 jours en pension complète, une voiture disponible pour quatre personnes et la possibilité d'utiliser "du" matériel. Pour l'observation nous disposions principalement de deux sites, le premier sur le lieu même d'hébergement : la plage du lagon de la Saline, plein Sud, le deuxième : la Plaine des Makes, à 1000 m d'altitude, était situé à une quarantaine de kilomètres.

Pour les quarante-huitards que nous sommes, la première nuit sous des latitudes tropicales est toujours un miracle, surtout après un rude hiver . A peine le temps de sortir de l'océan tiède, de regarder le Soleil disparaître, et voici déjà Canopus et Sirius, mais oui c'est bien Sirius : elle est si haute que d'abord nous hésitons . Voici la Croix du Sud, et aussi la Fausse Croix ( nous les avons confondues comme tout le monde, la première fois, afin de justifier cette dénomination ! ). Très vite l'immense arche de la Voie Lactée déploie d'innombrables amas, nébulosités, sombres et brillantes, visibles à l'œil nu. Ainsi donc le Sac à Charbon est juste à côté de la Croix du Sud... mais il est énorme !.. Dans mes jumelles, je vois scintiller la Boîte à Bijoux ... et voilà le Grand Nuage de Magellan - que j'avais pris pour un vrai nuage - assez bas sur l'horizon. Avec lui et des jumelles, on peut déjà passer toute la soirée sans s'ennuyer !

L'amas du Centaure, objectivement, est éblouissant : aucun problème pour le trouver, et peu de difficultés pour les constellations australes - Voiles, Poupe, Carène, Centaure - N'y voyant que des quadrilatères et des hexagones, nous nous demandons où ils sont allés chercher tous ces noms-là mais c'est sans importance. Le plus déconcertant est bien de voir nos constellations à nous à l'envers ... et nos animaux familiers sur le dos : le Lion, le Scorpion...et la Thérière presque renversée, le cerf-volant du Bouvier en facheuse posture, et Orion étendu ! Sur la plage on pouvait distinguer quelques formes humaines la tête en bas : il paraît qu'ils ou elles cherchaient Hercule !

Nous étions arrivés le 30 Mars, peu avant le Dernier Quartier . Sachant que la Lune était très gênante pour observer la comète, j'ai commencé par faire des provisions de sommeil, pour la suite du séjour . C'est donc au début du mois d'Avril que je l'ai vue à l'œil nu, non loin du Scorpion. Eh bien oui ! Elle était très belle, il faut le dire, et ne pas écouter les déçus et les grognons qui ont parlé dans le poste . Elle était à peu près aussi brillante que l'amas du Centaure . Bien sûr, la queue était difficilement visible à l'œil nu, d'autant plus qu'elle était dans la Voie Lactée, sauf un soir où elle se détacha sur le fond noir de la séparation . Mais enfin on pouvait la trouver à l'œil nu, à condition de ne pas la confondre avec l'un des amas qui pullulent dans cette région du ciel .

Une fois de plus, un certain nombre de Français s'apercevait qu'ils avaient oublié d'apprendre le ciel ! Les autres observaient l'irrésistible ascension de la comète, un peu plus belle chaque nuit, à mesure que la Lune s'éloignait, s'amincissait, et se levait plus tard . Nous dormions de moins en moins, mais notre mauvaise mine était dissimulée par les coups de soleil que nous attrapions dans la journée. L'astre vertical brûlait impitoyablement tout ce qui dépassait ( nez, mains ...) ce qui eut pour effet de gâcher encore le peu de sommeil qui nous restait ! Comme disait un méridional du groupe: "La Réunion le jour, le ciel austral la nuit, c'est crevant ce voyage ! La prochaine fois, on se choisit une éclipse de Soleil : ça dure 3 minutes et après on est tranquille !"

La Réunion est une île où le ciel est un peu fantasque, très changeant de jour comme de nuit. Les nuages arrivent en deux minutes, et ne persistent jamais . Il faut pouvoir aller se coucher une ou deux heures, car la fin de la nuit est toujours dégagée . Canopus et Sirius se reflètent alors dans l'océan avant d'y plonger . Emotion forte . Nous sommes montés une fois à la Plaine des Makes, même problème de nuages ; le ciel une fois dégagé était-il plus beau, c'est difficile à dire. L'avantage était de pouvoir disposer d'un télescope muni d'un moteur . L'installation de notre petite monture équatoriale ne nous avait jamais posé de problème, par contre ici nous ne pouvions nous contenter d'une mise en station approximative, or nous sommes peu familiers de Bigourdan. Nous aurions apprécié l'aide de nos animateurs : là était l'erreur .

Sur le plan touristique notre voyage était remarquablement organisé . Nous en avons eu déjà le sentiment lors de la séance de présentation de l'île - son climat, sa végétation, sa flore, sa faune - mais la part dévolue à l'astronomie était fort réduite, et le vocable "comète" absent, ce qui m'inquiétait un peu. Pas un mot d'astronomie dans l'épais dossier - fort bien réalisé - qui nous avait été remis, mais un mini-ciel fut distribué à tous les participants . Quant à l'encadrement par nos animateurs, il était presque inexistant . Je ne le dis pas pour dire du mal des gens bêtement, mais parce que le voyage était présenté comme " moitié stage, moitié visite de l'île ", la partie stage étant

"à la carte selon les différents niveaux" . Quelques séances d'initiation sur la plage et quelques séances de diapositives constituèrent, je suppose, la partie "stage".

Le seul animateur vraiment compétent était un géologue; il nous présenta un magnifique exposé sur le volcanisme, qui pourtant n'était pas sa spécialité, et organisa au cours du séjour plusieurs sorties "commentées". Il faut dire que lors de notre voyage, la comète avait été quelque peu éclipsée par une spectaculaire éruption du Piton de la Fournaise, et que nous avons eu, même quelques jours après, du "grand spectacle". La coulée qui était arrivée jusqu'à la mer fumait encore, bien qu'elle ne soit plus incandescente. Sur la route N2, deux failles béantes s'ouvraient sur les entrailles de la Terre. Plus loin, la même route était ensevelie par la coulée de "grattons" haute de 4 mètres, longue de 150 mètres . Et bien plus haut, plus à l'intérieur des terres, dans le cratère central du Piton de la Fournaise, un effondrement avait libéré pour quelques jours une cascade de lave en fusion ...

D'autres voyages seront organisés en juillet, sans comète et probablement sans éruption . Je peux vous dire : allez-y, le prix est avantageux et le ciel Réunionnais vaut le voyage . Mais si vous vous attendez à bénéficier, comme aux Ecoles d'été du CLEA, de l'assistance et des conseils d'une équipe compétente, emportez plutôt avec vous quelques numéros indispensables des Cahiers Clairaut, vos bouquins et vos atlas. Aide-toi et ... non, moi, le ciel, il ne m'aide pas!

Dans notre groupe, il y avait des astronomes " purs et durs" qui sont partis dès le premier soir avec leur matériel et que nous n'avons revus qu'à l'aéroport ! Aucune évaluation en fin de stage : personne ne sait qui a fait quoi ! Il y avait aussi quelques touristes " purs et durs " mais surtout une grande majorité de gens qui auraient voulu apprendre à faire des photos. Quelques conseils, tirés des leçons de Daniel Bardin et de Didier Buty, ont permis à quelques-uns de débiter... et d'avoir envie d'adhérer au CLEA .

Percevant sans doute une certaine frustration, notre animateur-chef-bronze nous annonça le dernier soir (!) une séance de photos sur la plage afin que chacun reparte avec sa photo de la comète . " Déjà ?" dis-je avec une once de méchanceté dans le viseur ... Vingt minutes après, il nous annonçait que la séance prévue était annulée car le Sac à Charbon occupait tout le ciel ! Nous avons tous vu les nuages noirs s'accumuler vers 17 heures . Goguenards, nous allâmes nous coucher très tôt. Le réveil sonnait à minuit et demi pour notre plus longue, notre plus belle nuit de photographie et d'observation .

Anne-Marie LOUIS

LES POTINS DE LA VOIE LACTEE  
GALAXIES INFRA-ROUGES ET "MEGASERS"

Le satellite infra-rouge IRAS a permis de découvrir des galaxies particulièrement intense dans le domaine infra-rouge: certaines d'entre elles rayonnent une puissance qui peut être jusqu'à cent fois plus grande dans l'infra-rouge que dans le bleu, alors que la galaxie connue jusqu'ici pour être un émetteur infra-rouge puissant et considérée de ce fait comme un monstre, M82, n'est que quatre fois plus lumineuse en infra-rouge que dans le bleu.

On interprète cette émission intense dans l'infra-rouge par le rayonnement dû aux poussières interstellaires qui ont préalablement absorbé le rayonnement ultraviolet émis par une population anormalement élevée d'étoiles très chaudes, récemment formées: ces galaxies seraient donc le siège d'une activité de formation d'étoiles considérable. Elles représentent donc un objet d'étude de choix pour faire progresser nos idées sur le mécanisme de formation des étoiles.

Parallèlement, et de façon complètement indépendante, des chercheurs d'Arecibo ont découvert une émission due au radical OH considérablement amplifiée par effet maser dans la galaxie particulière Arp 220 qui se trouve être un émetteur infra-rouge très puissant. Les quatre raies de OH au voisinage de 18 cm de longueur d'onde ont des rapports d'intensité inhabituels, prouvant l'existence de conditions physiques très particulières d'un milieu hors équilibre où un rayonnement de faible intensité peut être considérablement amplifié. On connaît de tels effets masers dans le milieu interstellaire de notre Galaxie, mais l'amplification observée ici est considérablement plus importante, ce qui explique le qualificatif de "mégamaser" qui est utilisé.

Plusieurs équipes utilisant des grands radiotélescopes équipés de récepteurs à 18 cm de longueur d'onde ont donc entrepris de rechercher systématiquement de tels "mégamasers". Une équipe de radioastronomes français (L. Bottinelli, M. Dennefeld, L. Gouguenheim, A.M. Le Squeren, J.M. Martin et G. Paturel) a entrepris en mai 1985 une recherche systématique de cette émission OH en utilisant le radiotélescope de Nancay qui venait d'être remis en service après une importante opération de rénovation qui lui a conféré une sensibilité et un ensemble de performances considérablement accrus. Les observations à Nancay, effectuées à 18 cm et à 21 cm pour étudier simultanément le gaz interstellaire sous forme d'hydrogène neutre, ont été complétées par des observations optiques, à l'Observatoire de Haute Provence et à l'Observatoire Européen Austral. Après une recherche patiente portant sur plus de cent galaxies caractérisées par une émission infra-rouge très intense, 5 galaxies à mégamasers ont été découvertes. Des recherches similaires effectuées aux Etats-Unis (Green Bank et Arecibo), en Angleterre (Jodrell Bank) et en Australie (Parkes) portent à un total de dix le nombre de galaxies à "mégamasers". Il s'agit donc d'objets extrêmement rares, dont on cherche à cerner les propriétés particulières.

Les observations de Nancay ont montré en particulier, par l'observation de la raie 21 cm émise par l'hydrogène neutre, que le champ des vitesses est extrêmement perturbé: le gaz est animé de mouvements particuliers très violents, de plusieurs centaines de km/s, qui se superposent au mouvement de rotation d'ensemble.

Des observations à plus grande résolution spatiale (Very Large Array aux Etats-Unis, réseau Européen d'Interférométrie à très Grande Ligne de Base) sont en cours, pour cartographier ces galaxies.

Cet exemple illustre la situation de plus en plus fréquente de la recherche actuelle, où l'on combine des observations de diverses natures, effectuées à des longueurs d'onde différentes, au sol et dans l'espace pour cerner les propriétés d'un type d'objet.

Lucette Bottinelli

DIX ANS ...

Seize juillet 1986: pour la dixième année consécutive, l'Ecole d'Eté d'Astronomie se termine. Les cent quinze stagiaires ont quitté le Picpéric - devenu étrangement silencieux - non sans avoir rassemblé, trié et compté livres et outils, décollé ou décloué affiches, photos et rideaux noirs, empilé les cartons dans la camionnette et pris leur part de colis à rapporter à Orsay - de la grande sphère céleste en plastique au microordinateur, en passant par un célestron ou deux...

Dix ans, déjà ... Des "anciens" (ceux qui sont fidèles depuis Lanslebourg ou Digne) aux "nouveaux", ils se sont donnés le mot pour nous faire la surprise d'une bien belle fête d'anniversaire, avec pièce montée de rêves, discours en chansons et concert final. Moment d'émotion forte, de bonheur intense. Il faut avoir vécu une Ecole d'Eté, son climat de bonne humeur, son atmosphère de ruche...

Dix ans, ça mérite un bilan - une réflexion sur l'avenir. L'avenir, il nous paraissait bien assombri en préparant le départ pour cette dixième Ecole d'Eté. Disparition du soutien financier du CNRS. Disparition, dans le nouvel organigramme du Ministère, de la Mission d'Action Culturelle. Disparition programmée pour 1987 du service au CNRS qui nous loue chaque année la camionnette "Trafic". Comme dit Michel Charles, notre affaire c'est un peu Barnum... Alors vous imaginez Barnum sans camionnette ? Et les tarifs des loueurs privés, ça n'est pas du tout dans nos moyens. Bilans individuels des animateurs: les fins de mois deviennent plus difficiles, la période des vacances se rétrécit... l'amputer chaque année de quinze jours, avec voyage et séjour à financer, ça devient lourd. Lourd aussi le travail de préparation, le recensement du matériel, les achats, le courrier, les fiches d'inscription... A quoi servons-nous ? L'Astronomie reste marginale dans les programmes. Les PAE existeront-ils encore demain ? Et quelle place font-ils aux thèmes scientifiques ? La formation continue des enseignants ? Nous, on y croit toujours, mais vu "d'en haut" est-ce que ça ne se limite pas à un apprentissage accéléré de disciplines nouvelles considérées comme essentielles à la formation du futur citoyen - l'informatique, l'électronique et (défense de rire) la géométrie. Il faut acquérir une somme de connaissances pour la rediffuser, dès la rentrée... Nous, on voyait ça autrement. Les recettes toutes faites, les disciplines et les ordres d'enseignement cloisonnés, ça n'est pas notre vision des choses.

Bref, le moral n'était pas à son maximum. En plus, cette année, on était privés de Gilbert (d'accord, il gère les finances du CLEA et les abonnements aux Cahiers, il préparait un nouveau feuilleton historique, il terminait la lecture de "Galilée Hérétique" et tapait le courrier des lecteurs de ce numéro... mais qui d'autre que lui pour apporter l'indispensable vision historique ? D'ailleurs, ils l'ont tous dit, à Formiguères, ça manquait, l'histoire), de Florence Durret (c'est le moment de vous annoncer la naissance de Lorene), de Georges Paturel (il travaille au Texas sur la relation Tully-Fisher; pour en savoir plus, se reporter à la page 2), de Christian et Christine Mossler (Jean-Paul vient d'avoir un petit frère...) de Christian Canard (trop de travail... tant mieux, les affaires ASTAM marchent!). Lucette et Lucienne s'arrachaient les cheveux devant la quadrature du cercle: comment faire tenir un séjour d'un mois, miraculeusement financé par la Finlande, à l'observatoire de Turku, 15 jours d'observation à Nançay, un congrès de 8 jours à Pékin (toujours la relation Tully-Fisher et ... l'attrait supplémentaire d'un petit tour post-congrès en Chine!), un petit temps de vacances, tout cela avant la rentrée universitaire, le 22 septembre ? Elles ont sacrifié la Chine. Michèle a réussi à faire programmer sa période d'observation au Chili au mois d'août; les vacances prévues au Brésil, dans la foulée du voyage, s'annoncent mal: l'amie compagne de tous les grands voyages d'exploration que Michèle aime tant, déclare forfait: pour elle la rentrée est début septembre. Jacky s'est fait réprimander par le grand patron: le devoir premier d'un chercheur, c'est d'être présent au laboratoire. Déjà, les heures d'enseignement universitaire augmentent pendant l'année... Cette Ecole d'Eté est-elle vraiment nécessaire ?



Index des huit premières années des Cahiers Clairaut.

No	Pg	Titre	Auteurs
1	2	Les Cahiers Clairaut: Pourquoi ce titre ?	La Rédaction
	5	Avant-projet de programme de Sc. Phys. Classe de 4 <sup>ème</sup>	
	6	Quand sommes-nous plus près du soleil, à midi ou le soir ?	
	8	Questions... avec ou sans réponse	
	9	Anciennes mesures de distance en Astronomie	K. MIZAR
	12	Pourquoi l'homme dessine-t-il les étoiles avec des pointes ? Pourquoi quand la nuit tombe, des étoiles apparaissent ?	
	13	Comment obtenir un spectre ?	L. BOUQUET, J.P. COURTIER,
	22	Enseignement de l'Astronomie en terminale C.	
	23	Le phénomène de l'arc-en-ciel	A. ACKER
2	4	Les phases de la lune	A. ACKER
	6	Et maintenant, réfléchissons.	J. DUPRE
	13	Une expérience d'Astrologie.	J. CHAPPELET
	15	L'Astronomie dans l'enseignement secondaire en France	H. GIE
	20	Un coup d'oeil sur le passé. A propos du paradis et de l'enfer.	G.W. L.M. CELNIKIER
	22	Une expérience d'Astronomie en 1 <sup>ère</sup> A	D. TOUSSAINT
	30	L'école de Champrencier - Digne	V. TRYDEN
	36	L'école d'été de Tarbes	L.M. CELNIKIER et M.T. CHAVILLE
	38	Astronomie pour nos élèves	
3	3	Astronomie et recherche spatiale	A.C. LEVASSEUR-REGOURD
	6	Hipparque aujourd'hui	G.W.
	11	L'arc-en-ciel	D. BERNARD
	16	Pourquoi l'équinoxe de printemps n'a-t'il pas toujours lieu à la même date ?	
	22	Pourquoi le ciel est-il bleu ?	M. GERBALDI
	28	Les éclipses	A. ACKER
4	3	Dossier de construction d'un télescope de 200 mm	G. REYNAUD
	8	Vénus tourne mal	K. MIZAR
	10	Observation des taches solaires	D. CANARD
	18	A propos du bleu du ciel	L.M. CELNIKIER et B. LEROY
5	3	L'orbite de Mars	D. TOUSSAINT
	6	Quand Vénus est-elle la plus brillante ?	
	7	Sur la formation des étoiles	P. LENA
	15	Bon et sage Chiron	New Scientist
	18	L'effet Doppler - Fizeau est-il un effet relativiste ?	L. GOUGUENHEIM
	26	L'Astronomie dans les programmes	
	27	Documents audiovisuels en Astronomie	
6	3	Le thermoséantzéthéliomètre à rotule	G. PATUREL
	12	De l'atmosphère de Vénus	A.C. LEVASSEUR-REGOURD
	14	Réduction à l'échelle du système solaire	D. DUMOULIN
	18	Compte-rendu de l'expérimentation en classe de 4 <sup>ème</sup>	PRESSET
	20	Comment trouver la direction du pôle céleste Nord ?	
	21	La masse de la Terre	A. ACKER

Index des huit premières années des Cahiers Clairaut.

No	Pg	Titre	Auteurs
7	3	Jupiter et ses satellites, planétologie (1)	A.BRAHIC
	14	Les quasars	S.COLLIN-SOUFFRIN
	19	Interactions lumière - matière : le processus de diffusion. A propos du bleu du ciel	M.GERBALDI et B.LEROY La rédaction
	27	Calcul du rayon terrestre	J.CHAPPELET
	30	Hélioscope simple	A.DELAYERGNE
	32	Toise à soleil	L.MEEUS, P.VOYER et J.CHAPPELET
8	3	Le rayon vert	D.L.BYRD
	6	La réfraction astronomique	M.GERBALDI
	11	Comment photographier le rayon vert ?	
	14	Réfraction atmosphérique et coucher du soleil	
	19	Jupiter et ses satellites, planétologie (fin)	A.BRAHIC
9	3	Note sur les montures équatoriales	D.BARDIN
	12	Exploitation de relevés de taches solaires	M.GRELLIER
	21	Initiation à l'Astronomie	La rédaction
10	3	Johannes Kepler (1) : Le mystère cosmographique	K.MIZAR
	11	Qu'est-il arrivé à Uranus et Neptune ?	D.SLAVSKY
	19	Réalisations d'un club d'Astronomie	
	25	Energie solaire et durée de vie du soleil	A.ACKER
	30	Eclipse de Lune par la pénombre	D.BARDIN
11	3	Saturne 1980	A.BRAHIC et G.W.
	11	Un cadran solaire à trois dimensions	D.TOUSSAINT
	24	Johannes Kepler (2) : L'Astronomie nouvelle	K.MIZAR
	33	Comment mesurer le rayon de la terre ?	G.PATUREL
	37	Peiresc (1) : Sa vie	J.RIPERT
12	3	L'Astronomie au cours préparatoire	D.TOUSSAINT
	5	Johannes Kepler (fin) : L'harmonie du monde	K.MIZAR
	10	Le club d'Astronomie du collège Calmette	L.SARRAZIN
	11	Astronomie en province	H.R.
	14	Raid sur Entebbé	G.PINSON et Classe 1 <sup>er</sup> F5 (LYON)
	22	Peiresc (fin)	J.RIPERT
	36	Paul Couderc	La rédaction
13	3	La fabrication d'une lunette astronomique simple	G.PATUREL
	11	Ce 13 mars 1981...	K.MIZAR
	16	La microinformatique au service de l'astronome amateur	J.LE HIR
	20	L'aurore polaire	J.DUPRE
	30	L'Astronomie dans les Ecoles Normales	S.NEYRET et M.HOURQUIN
	33	Saturne	Victor HUGO
14	3	La grande Ourse	M.GERBALDI
	9	Petite histoire de la parallaxe du Soleil (1)	K.MIZAR
	15	Repères Galiléens et étoiles fixes	J.DUPRE
	21	Regard sur l'Univers	F.SUAGHER
15	3	Observons les étoiles variables	M.VERDENET

Index des huit premières années des Cahiers Clairaut.

No	Pg	Titre	Auteurs
15	10	Petite histoire de la parallaxe du Soleil (2)	K.MIZAR
	15	L'origine du système solaire (1)	J.P.PARISOT
	23	Expériences faites par un ami de Galilée	Club des Pléiades
16	3	Une page de Laplace	LAPLACE
	6	L'origine du système solaire (3)	J.P.PARISOT
	11	Contes et légendes ... : Les étoiles	A.DAUDET
	12	Petite histoire de la parallaxe du soleil (fin)	K.MIZAR
	21	Calendrier : Histoire de l'Univers en un an ...	M.GRELLIER
	22	Lunette astronomique simple à réaliser soi-même	ASTAM (C.CANARD)
	32	Jeux, problèmes amusants, paradoxes	J.P.PARISOT
17	3	Vers l'est ou vers l'ouest	H.GIE
	7	Réunion constitutive du CLEA	La rédaction
	8	Concours du musée de La Villette	M.GERBALDI
	11	Un astronome géodésien : J. Picard	K.MIZAR
	17	Cadran solaire	J.OLLIER
	24	L'origine du système solaire (fin)	J.P.PARISOT
	30	La puce de la Sainte	J.P.PARISOT
18	3	Les mirages gravitationnels	G.VANDERRIEST
	11	Une grande réforme réussie	Evariste DUPONT
	13	Un astronome géodésien : J.PICARD (suite et fin)	K.MIZAR
	18	L'héliolabe	V.AGUERRE
	27	Soirées d'astronomie dans 41 écoles de Besançon	E.DAVOUST
	32	À propos de la lune des moissons	F.PUEL
19	3	Photographie et spectrographie élémentaires	D.BARDIN
	19	Errants et errances (1)	K.MIZAR
	24	L'horloge de l'astronome	J.P.PARISOT
	25	La couleur des étoiles	D.TOUSSAINT
	29	ESO : Observatoire européen de l'hémisphère sud (1)	D.ALLOIN
20	3	Heure d'hiver, heure d'été et économies d'énergie	V.TRYDEN
	7	Errants et errances (2)	K.MIZAR
	13	Idées pour la programmation d'un calendrier grégorien	M.CARMAGMOLE
	24	ESO : observatoire européen de l'hémisphère sud (fin)	D.ALLOIN
	33	Rotation de la terre sur elle-même et distance Terre-Lune	C.BUTY
	38	Héliographe	J.RIPERT
21	3	Les neutrinos solaires (1)	E.SCHATZMAN
	8	Toise à soleil ... enregistreuse	J.RIPERT
	16	Nombre d'étoiles plus brillantes qu'une magnitude donnée	F.SUAGHER
	17	Mouvement diurne : Repérage de l'étoile polaire	J.P.ROSENSTIEHL
	19	Errants et errances (fin)	K.MIZAR
	23	De Newton à Kepler... avec une calculette	J.P.ROSENSTIEHL
	29	Notions élémentaires sur l'espace en CMI	L.SARRAZIN et M.LECLERC
	36	Astronomie et philosophie (1)	H.ANDRILLAT
22	3	Construction d'un planétaire (1)	C.FIGUET

Index des huit premières années des Cahiers Clairaut.

No	Pg	Titre	Auteurs
22	11	La canicule	D.BARDIN
	12	Le concept d'univers et le principe cosmologique	H.ANDRILLAT
	14	L'Ourse et la comète	J.P.ROSENSTIEHL
	18	Les neutrinos solaires (fin)	E.SCHATZMAN
	22	La chasse aux perles	D.BARDIN
	23	Notre Emilie	K.MIZAR
	26	Triangulation d'un météore	J.P.ROSENSTIEHL
	31	Le CLEA et les petites planètes	D.BARDIN
	35	Page à relire	ALAIN
	37	Expériences : Le bleu du ciel	B.SANDRE
23	3	Planétaire (fin)	C.PIGUET
	7	Lecture de Kepler (1)	K.MIZAR
	13	Réflexions autour d'une unité de formation optionnelle	J.DUVERNEUIL et P.YENTURINI
	15	Potins de la voie lactée : Respirons-nous l'azote des enveloppes des novae ?	W. de CIRRUS
	16	Semaine de planétologie Bruxelles Aout 83	J.M.CHEVALLIER
	19	Astronomie et Philosophie (2) : Einstein et le concept d'un univers fini	H.ANDRILLAT
	21	Le cadran solaire de l'école de Soubise	GREZILLIER
	23	Astronomie au CE1	Mme SIMIAN
	27	Exploitation d'une photographie du mouvement diurne	J.P.ROSENSTIEHL
	33	L'Astronomie dans le calendrier des PTT (1)	JP.PARISOT, F.PUEL et F.SUAGHER
	35	Astronomie, Mathématique, Algorithmique : Durée du jour et azimut du lever du Soleil	J.C.ALLARD
24	3	Alchimie cosmique	L.SOUGUENHEIM
	11	Jupiter et ses satellites	P.LE FUR
	16	Modèle simplifié du système solaire	M.TOULMONDE
	25	Lecture de Kepler (2)	K.MIZAR
	28	Mars 1684	
	29	L'Astronomie dans le calendrier des PTT (2)	JP.PARISOT, F.PUEL et F.SUAGHER
	32	Une éclipse très partielle	J.P.ROSENSTIEHL
	34	Potins de la voie lactée : Le halo massif de la Voie Lactée Question sur l'Arc-en-ciel	J.RIPERT
	35	Astronomie et Philosophie (3) : Le modèle d'univers d'Einstein	H.ANDRILLAT
	38	Astronomie en Pologne	C.IWANISZEWSKA
	41	Les étoiles tournent-elles durant la nuit	L.SARRAZIN et M.LECLERC
25	3	Eveil en Astronomie au CP à l'école française de Kinshasa	D.VALLARCHE
	9	Etoiles à neutrons et pulsars	R.HAKIM
	12	William Herschel et Uranus	
	13	De Newton à Kepler... avec la calculette du physicien	D.BUTY
	16	Structure de l'Univers à grande échelle : le vide du Bouvier	L.BOTTINELLI
	17	Réponses à une question sur l'arc en ciel	V.TRYOEN
	19	A propos de l'arc en ciel	C.BUTY
	20	Lecture de Kepler (3)	K.MIZAR
	23	Astronomie et Philosophie (4) : Les modèles d'univers en expansion	H.ANDRILLAT
	26	Test d'intelligence	

Index des huit premières années des Cahiers Clairaut.

No	Pg	Titre	Auteurs
25	27	Astronomie, Mathématique, Algorithmique : Mouvement du plan de l'orbite de la Lune	J.D.ALLARD
	35	Astronomie au Technicum de Batna	J.P.GINESTET
	36	Mesure de la masse de Jupiter ... sans balance	P.LE FUR
	37	Mesure de la masse de Jupiter ... avec un chronomètre	Jean RIPERT
	42	Faites votre système solaire dans la cour de l'école	
	43	L'astronomie dans le calendrier des PTT (3)	J.P.PARISOT, F.PUEL et F.SUAGHER
26	3	A propos des comètes	A.C.LEVASSEUR-REGOURD
	9	Le paradoxe de l'expansion	J.P.PARISOT
	10	La recherche, activité ludique	E.SCHATZMAN
	13	L'univers est au bout du tunnel	P.MOIGNER
	14	Les marées océaniques : une interprétation malheureuse	S.CLAIRMIDI et N.PORCEL
	15	Descente au sein d'une étoile à neutron	R.HAKIM
	19	Potins de la voie lactée : Les étoiles très peu massives	L.BOTTINELLI
	20	L'éclipse de soleil de 1983 au cours préparatoire	
	24	Chronique du CLEA	La rédaction
	27	L'astronomie dans le calendrier des PTT (4)	J.P.PARISOT, F.PUEL et F.SUAGHER
	29	L'équation de Kepler (1)	M.TOULMONDE
	35	Astronomie et Philosophie (5) : Les tentatives métaphysiques en cosmologie	H.ANDRILLAT
	41	Lunophase	P.MAGNIEN
27	3	Friedrich Wilhelm Bessel, l'astronome de Königsberg	K.MIZAR
	7	De l'Astronomie ... avec les mains	A.DEL AVERGNE
	13	En attendant son retour...	K.MIZAR
	17	L'Astronomie dans le calendrier des PTT (fin)	J.P.PARISOT, F.PUEL et F.SUAGHER
	20	Radiotélescope à la disposition des amateurs	
	21	Etoiles à neutrons et pulsars	R.HAKIM
	23	Actions de popularisation de l'Astronomie en Finlande	P.TEERIKORPI
	25	Astronomie et Philosophie (6) : Le retour à la cosmologie positiviste	H.ANDRILLAT
	27	Cherchons midi à quatorze heures	J.DUPRE
	28	Heurs et malheurs de la construction d'un cadran solaire	D.TOUSSAINT
	29	A propos de marées	J.VIALLE
	37	Potins de la voie lactée : Le ciel en infrarouge (IRAS)	L.BOTTINELLI
	38	L'équation de Kepler (2)	M.TOULMONDE
28	4	Visibilité de la planète Venus en 1985	J.P.ROSENSTIEHL
	5	L'Astronomie et le philosophe (1)	P.DUPOUEY
	11	L'amour du risque, le risque de l'amour	Classe de 6 <sup>ème</sup> et P.CORBIER
	13	L'éclat de Mercure et de Vénus. Essayons d'y voir plus clair	J.DUPRE
	15	L'équation de Kepler (fin)	M.TOULMONDE
	19	Astronomie et Philosophie (7) : Le point 'actuel' de la question en cosmologie	H.ANDRILLAT
	26	Quadrant de Copernic	V.AGUERRE
	28	Etoiles à neutrons et pulsars	R.HAKIM
	31	Potins de la voie lactée : ça bouge dans les faubourgs de Neptune	G.W.
	39	Comment utiliser le cadran solaire sphérique d'Aix en Othe	D.TOUSSAINT
29	5	L'objet Univers	J. SCHNEIDER rédigé par B.SANDRE

Index des huit premières années des Cahiers Clairaut.

No	Pg	Titre	Auteurs
29	13	Observations en classe de 4 <sup>ème</sup>	J.RIPERT
	18	Quand deux étoiles jouent à cache-cache	P.ROUSSELOT
	25	Potins de la voie lactée : Autour de Neptune	G.W.
	27	Des plans pour la comète ...	M.TOULMONDE
	37	À propos de la durée du crépuscule	R.DUMONT
	38	L'Astronomie et le philosophe (2) : Astronomie et Mathématiques	P.DUPOUEY
	45	En attendant son retour ...	K.MIZAR
30	3	Une sphère armillaire	B.SANDRE
	12	Comment, de nuit, observer une éclipse de soleil ?	K.MIZAR
	13	Astronomie et mécanique en 3 <sup>ème</sup>	J.RIPERT
	16	En attendant son retour ...	K.MIZAR
	21	Potins de la voie lactée : Mirages gravitationnels	L.BOTTINELLI
	22	L'Astronomie et le philosophe (2)	P.DUPOUEY
	34	À propos de la durée du crépuscule	J.VIALLE
	37	Des plans pour la comète (fin)	M.TOULMONDE
	46	Astronomie et Philosophie (8) : Le problème du temps et de la vie	H.ANDRILLAT
31	3	L'effet de marée	H.GIE
	8	La comète 1759	Victor HUGO
	9	Astronomie, Mathématique, Algorithmique : L'équation du temps	J.C.ALLARD
	17	La Lune au CM1	M.LECLERC et L.SARRAZIN
	19	Construction d'un cosmographe	C.PARAVY et A.PUJOL
	28	Construction et mode d'emploi d'un calendrier perpétuel	J.P.PARISOT
	39	Vénus et les pléiades	J.P.ROSENSTIEHL
	41	Potins de la voie lactée : Rencontre avec la comète	L.BOTTINELLI
32	3	Les comètes et la comète de Halley	E.GERARD
	10	La pression de radiation solaire	H.GIE
	11	L'exploration spatiale de la comète de Halley	Plaquette expo ORSAY
	20	Magnitude planétaire et moindres carrés	M.TOULMONDE
	23	Spectroscopie au T 60 du Pic	D.BARDIN
	34	Les éclipses (CM1)	M.LECLERC et L.SARRAZIN
	35	Potins de la voie lactée : Nouvelles brèves d'Uranus	L.BOTTINELLI
	36	Chronique du CLEA. Rapport annuel	La rédaction
	45	La comète dans les chaumières	A.M.LOUIS
33	3	URANUS, le 24 Janvier 1986 : ce que Herschel n'a pas pu voir le 13 Mars 1781	A.BRAHIC et G.WALUSINSKI
	13	Deux boîtes sans malice ou comment montrer les étoiles au nadir	J.RIPERT ET D.BARDIN
	19	La S.A.H.A	J.RIPERT
	21	Le regard dans les étoiles : 5 semaines de classes vertes	N.LANDIANO ( traduction J.VIALLE)
	25	Les potins de la voie lactée : Véga et Giotto, un mois après	A.C.LEVASSEUR-REGOURD
	33	La chronique du CLEA	
	35	Rencontres Yéroises	J.RIPERT
	36	Rubrique astromatique	J.DUPRE
	37	Positions et vitesse de la comète de Halley	J.P.ROSENSTIEHL

Liste des ouvrages recensés ou analysés dans les Cahiers Clairaut.

N°	Titre	Auteur
1	Bibliographie générale Encyclopédie Scientifique de l'Univers : 1 La Terre	
2	A la découverte du ciel Initiation à l'astronomie L'exploration du système solaire La découverte de l'Univers Les trois premières minutes de l'Univers	C. de BERGH et VERDET A. ACKER G. ISRAEL MICHARD ET OUDENOT Steven WEINBERG
4	Introduction à la théorie de l'observation en astrophysique Kepler astronome astrologue	H. REBOUL Gérard SIMON
5	Au delà de notre Voie Lactée, un étrange Univers Guide-explo de l'astronomie	J. HEIDMANN P. de LA COTARDIERE
6	Encyclopédie Scientifique de l'Univers : Etoiles et système solaire	
8	La sphère en mouvement	Autolykos de PITANE
9	Grasse 1980 Le nuage de la vie Oeuvres de Kepler	HOYLE et WICKRAMASINGHE
10	Encyclopédie Scientifique de l'Univers : La Galaxie, l'Univers extragalactique Notre Univers	James MUDEN
11	Histoire de l'Univers L'astronomie en quatrième (24 diapositives) L'atmosphère et ses phénomènes	A.C. LEVASSEUR-REGOURD
12	J'observe et j'étudie le ciel La matière aujourd'hui	M. VERDENET
13	La structure de la matière	A. GUINIER
14	Astronomie, méthodes et calculs Encyclopédie d'astronomie de Cambridge	A. ACKER et C. JASCHEK
15	Méthodes de l'astrophysique Nébuleuses et galaxies Patience dans l'azur	L. GOUGUENHEIM S. BRUNIER H. REEVES
16	Aujourd'hui l'Univers Ciel passé présent Clés pour l'astronomie La lumière	J. AUDOUZE G. WALUSINSKI J.C. PECKER B. MAITTE
17	L'observation de la terre par satellites Physique subatomique et particules	F. YERGER L. VALENTIN
18	Multiguide nature de l'astronomie	Ian RIDPATH
19	Le destin de la terre	Jonathan SCHELL
20	L'atmosphère solaire La vie vient de l'espace Le ciel atlas guide Voyage au bout du système solaire	J.C. PECKER F. CRICK P. KOHLER P. KOHLER
21	L'Univers Le grand atlas Universel de l'astronomie	P. COUDERC et J.C. PECKER

Liste des ouvrages recensés ou analysés dans les Cahiers Clairaut.

N°	Titre	Auteur
21	Mon premier livre d'astronomie	M.TOULMONDE
22	Les étoiles variables	M.PETIT
23	Mon premier livre de physique	M.TOULMONDE
24	JPL and the american space program	C.R.KOPPES
	L'Univers mécanique	L.YALENTIN
	La pratique de l'astronomie	C.CARBONNEAUX, P.DIDIER et C.MATHIEU
	Progrès et découvertes en astronomie	M.HARWIT
25	Encyclopédie Scientifique de l'Univers : 1 la Terre, eaux atmosphère	
26	Bulletin inter IREM d'astronomie	
	Les physiciens modernes et leurs découvertes	E.SEGRE
28	La cosmologie moderne	H.ANDRILLAT et cie
	Le destin ultime de l'Univers	J.N.ISLAM
	Poussière d'étoiles	H.REEVES
	Sous l'étoile Soleil	J.C.PECKER
29	Astronomie et astronomes en Provence (1680-1730)	J.M.HOMET
	Histoire générale de la nature et de la théorie du ciel	KANT
	L'observatoire de Paris, son histoire	S.DEBARBAT, S.GRILLOT et J.LEVY
	Les étoiles et les planètes	C.MAYNARD
	Les puissances de dix	
30	À la recherche des extraterrestres	J.HEIDMANN et J.C.RIBES
	Catalogue des étoiles les plus brillantes	Equipe Strasbourgeoise
	De la pierre à l'étoile	J.C.ALLEGRE
	La comète de Halley	Gazette d'URANIE
	Le chateau des étoiles	P.CHATEL
31	L'astrologie	
	Le retour de la comète	J.M.HOMET
32	Astronomie Flammarion	J.C.PECKER et...
	Halley, le roman de la comète	A.C.LEVASSEUR-REGOURD, P.de LA COTARDIERE
	L'histoire de ma jeunesse	F.ARAGO
	La comète de Halley (textes et documents pour la classe)	
	La comète de Halley, une révolution scientifique	P.MAFFEI
33	Conversations dans l'Univers	A.BRAHIC et P.DEBRAY-RITZEN
	Histoire de l'astronomie	L.M.CELNIKIER
	L'Odyssée cosmique	J.HEIDMANN
	Les comètes	F.ARAGO
	Les enfants d'Uranie	E.SCHATZMAN

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLEA

Directeur de la publication: L. Gouguenheim Université Paris Sud

Laboratoire d'Astronomie Bât. 470 91405 ORSAY CEDEX

Comité de Rédaction: D. Bardin, L. Bottinelli, J. Dupré, M. Gerbaldi, L. Gouguenheim  
J.P. Parisot, J. Ripert, D. Toussaint, V. Tryoën, G. Walusinski.

Edité à l'Université Paris Sud, Laboratoire d'Astronomie, Bât. 470 91405 ORSAY CEDEX

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

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