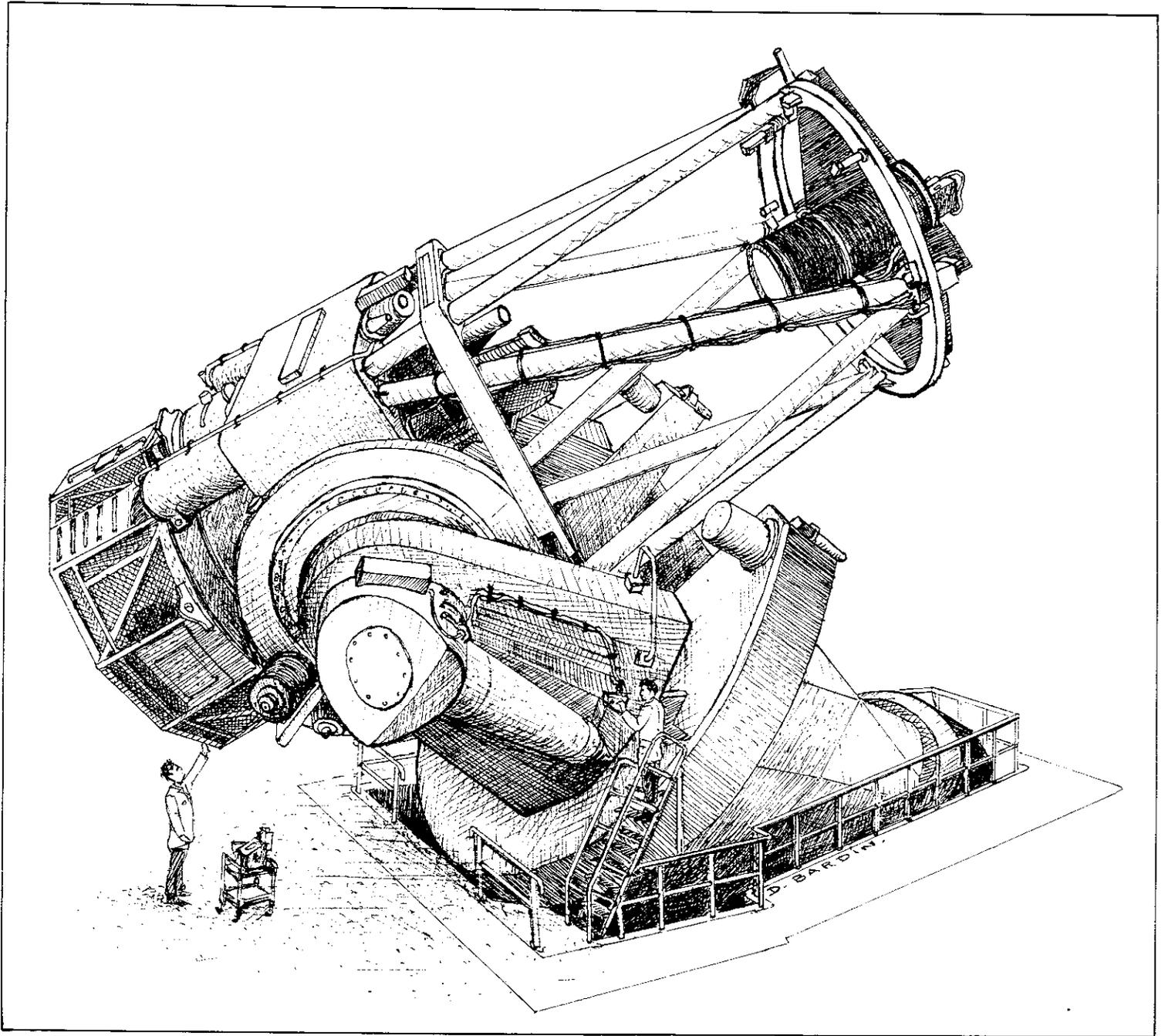


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



n° 42 - été 1988

ISSN 0758-234 X

## Le Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

---

---

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

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

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

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

La liste des publications du CLEA figure en page 3 de la couverture.

### Bureau du CLEA pour 1988

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Présidente : Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents : Agnès Acker

Alain Dargencourt

Hubert Gié

Jean Ripert

Catherine Vignon

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

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

# LES CAHIERS CLAIRAUT

n° 42 - Eté 1988

	p.
Les télescopes gravitationnels .....	2
A propos de la troisième loi de Kepler .....	8
Un cadran solaire avec la main .....	14
Les potins de la Voie Lactée .....	17
Le petit neveu de Camille Flammarion .....	18
Rendez-vous manqué avec la Lune .....	22
Quand nous jouons à la marée .....	25
Le calendrier .....	28
Lectures pour le Marquise .....	30
Le courrier des lecteurs .....	34
Cliché de la comète Bradfield .....	36
Index thématique des Cahiers Clairaut (n° 1 à 39-40) .....	37
Index des auteurs des Cahiers Clairaut (n° 1 à 39-40) .....	40

## EDITORIAL

La rédaction des Cahiers Clairaut remercie tous ceux qui ont contribué à faire ce nouveau numéro. Laurent Nottale tout d'abord et la SFSA qui nous ont autorisés à reproduire le texte de la très belle conférence qu'il a donnée, en octobre dernier aux journées de la SFSA, sur les "télescopes gravitationnels". Merci ensuite à Michel Toulimonde : il contribue beaucoup à ce numéro par son index thématique et son index des auteurs des 40 premiers numéros des Cahiers, par une mise au point sur le calendrier et une étude statistique intéressante sur les naissances en fonction des phases de la Lune. Parlons encore de la Lune, des marées cette fois ; René Dumont nous fait partager son émotion devant le concentré d'inexactitudes rencontré dans un ouvrage de vulgarisation sur la mer, destiné à de jeunes enfants. Si vous n'êtes pas lassé d'entendre parler de la Lune, précipitez-vous sur la critique par A.M.Louis de "Jardinez avec la Lune". Les collègues de Besançon, J.P.Parisot et F.Suagher nous proposent un cadran solaire assez simple et R.Perrin une jolie représentation graphique de la troisième loi de Kepler. Enfin K.Mizar plagie Diderot, avec la complicité de G.Paturel.

La rédaction

## Les télescopes gravitationnels.

Conférence donnée par

Laurent Nottale

Prix Digital Equipment France de la SFSA 1987

aux Journées Scientifiques de la Société Française des Spécialistes en Astronomie,  
Toulouse, 26-28 Octobre 1987.

En 1919, deux expéditions dirigées par Eddington furent envoyées dans l'hémisphère Sud vers les petites îles de Sobral et de Principe pour observer l'éclipse de Soleil du 29 Mai. Leur but: tester l'une des prédictions les plus surprenantes de la théorie de la Relativité Générale, définitivement mise au point par Einstein trois ans auparavant: la déviation des rayons lumineux par une masse, devant se traduire par un déplacement apparent des étoiles de  $1''75$  au bord du Soleil. La vérification spectaculaire de cette prédiction contribua fortement à porter la nouvelle théorie à l'attention du grand public dans les années 20. Il fallut pourtant attendre plus de 50 ans avant que de nouveaux effets de "lentille gravitationnelle" soient mis en évidence, non plus à l'échelle du système solaire, mais dans le domaine extragalactique.

La Relativité Générale, en tant que théorie relativiste de la gravitation, est un cadre naturel pour la cosmologie, la gravitation étant l'interaction dominante dans l'Univers à grande échelle. A partir du principe cosmologique d'homogénéité et d'isotropie, des modèles d'Univers à densité constante (pour une époque donnée) peuvent être construits (Friedmann-Robertson -Walker). Dans le cadre de ces modèles, les relations générales entre les observables fondamentales- décalage vers le rouge, luminosité, diamètre, température du rayonnement de corps noir cosmique -sont établies, et l'on connaît l'accord extraordinaire obtenu entre les prédictions théoriques (expansion de l'Univers et rayonnement fossile issu de l'Univers primordial) et les faits d'observations cosmologiques fondamentaux: loi de Hubble de proportionnalité entre distance et décalage vers le rouge des galaxies et découverte du corps noir à 3 Kelvin.

Cependant, même dans cet Univers simplifié supposé totalement uniforme, les prédictions relativistes réservent déjà des surprises. Si dans l'Univers proche le concept de distance reste bien défini, au sens où des méthodes de mesure différentes donnent des résultats identiques, il n'en est plus de même pour les très grands décalages spectraux. Ainsi la distance mesurée à partir des diamètres apparents des astres n'est plus une fonction uniforme du décalage spectral  $z$  et elle diffère de la distance mesurée à partir de la luminosité par un facteur 25 pour  $z=4$  (rappelons que le décalage spectral des quasars les plus lointains actuellement observés dépasse maintenant largement  $z=4$ ). La cause profonde de ce comportement est précisément un phénomène d'optique gravitationnelle: la densité moyenne non nulle de matière dans l'Univers a pour effet de focaliser les

rayons lumineux d'un même faisceau, qui va devenir convergent d'autant plus tôt que cette densité est grande; ainsi le diamètre apparent d'une source, qui diminue tout d'abord normalement quand on l'éloigne, devient constant et finalement augmente avec l'éloignement. C'est l'Univers dans son ensemble qui joue le rôle de lentille gravitationnelle!

Pourtant il s'agit là d'un modèle très simplifié de l'Univers, où l'homogénéité et l'isotropie, supposées valables à toute les échelles, impliquent l'universalité de la loi de Hubble, en particulier son indépendance de la ligne de visée. Notre vision de l'Univers qui se dégage des observations les plus récentes est toute autre: la distribution de la matière est fortement hétérogène et structurée jusqu'à des échelles de plusieurs centaines de Mégaparsecs, et ce n'est qu'au delà que peut s'appliquer strictement le principe cosmologique. La matière est concentrée en étoiles, qui se regroupent par dizaines ou centaines de milliard pour former les galaxies, ces constituants élémentaires de l'Univers pour la cosmologie observationnelle (il est cependant remarquable que les travaux de recherche récents sur l'optique gravitationnelle ont redonné un rôle cosmologique aux étoiles individuelles via les effets de "microlentilles" dont nous parlerons plus loin). Les galaxies sont rassemblées en groupes ou amas de galaxies de quelques Mpc de rayon, eux-mêmes constituant des superamas s'étendant sur quelques dizaines de Mpc. Les dix dernières années ont vu s'accroître exponentiellement le nombre de vitesses radiales de galaxies mesurées, ce qui a permis d'étudier la distribution des galaxies en trois dimensions, et non plus seulement d'après leurs positions projetées sur la sphère céleste. Une surprise de taille en est résultée, avec la découverte de vastes régions vides, de filaments et de "feuilletts" de galaxies dépassant parfois la centaine de Mpc.

Quelles vont être les conséquences de ces hétérogénéités sur la propagation des rayons lumineux, et donc sur les observations extragalactiques lointaines? C'est la question à laquelle tente de répondre un nombre croissant de travaux aussi bien théoriques qu'observationnels, les progrès les plus marquants résultant souvent d'un aller-retour entre ces deux approches. Considérons tout d'abord les prédictions théoriques. La manière la plus générale d'aborder le problème consiste à écrire les équations de l'optique géométrique en Relativité Générale puis à tenter de les résoudre pour des distributions de matière hétérogènes. On retrouve dans ces équations les deux effets déjà envisagés: la matière contenue dans un faisceau lumineux le rendra plus convergent, tandis que des masses extérieures, déviant différentiellement les rayons lumineux qui le composent, provoqueront son cisaillement, sorte d'effet de marée subi par la lumière. Le contenu matériel et énergétique de l'Univers change (détermine) sa géométrie dont dépend à son tour la propagation de la lumière. Une galaxie ou un amas de galaxies situé sur la ligne de visée nous joignant à une source lointaine va alors agir comme une "lentille gravitationnelle" sur cette source. Mais ce n'est qu'un cas particulier du phénomène général évoqué ici: toute fluctuation de densité par rapport à la densité moyenne de l'Univers va perturber les relations entre le décalage spectral et la luminosité ou le diamètre des astres. Dans le cas où une source se trouve située derrière une grande structure vue par la tranche, ou encore derrière plusieurs groupes ou amas de galaxies successifs, ce n'est plus d'une simple lentille qu'il s'agit, mais bien d'un véritable "téléscope" (au sens de réfracteur) ou "banc

d'optique" gravitationnel. Un des principaux résultats théoriques que j'ai récemment obtenu a précisément consisté à établir des solutions analytiques pour la propagation d'un faisceau lumineux dans une telle situation.

Les effets d'optique gravitationnelle prévus par la théorie sont multiples: nous allons les passer en revue avant de nous tourner vers les observations pour constater que beaucoup d'entre eux ont effectivement été mis en évidence ces dernières années.

Le déplacement apparent d'une source sur la sphère céleste a déjà été évoqué plus haut. On l'observe au bord du soleil en comparant les positions relatives d'étoiles à 6 mois d'écart. Dans le domaine extragalactique, il se traduit par un effet beaucoup plus spectaculaire, celui de "mirage gravitationnel": dès les années 30, F. Zwicky avait compris que si la lentille était constituée par une galaxie dans son ensemble, plusieurs images d'une même source lointaine pouvaient être observées. Cette prédiction remarquable de la Relativité Générale réalise cette fois un véritable éclatement de la notion de distance, plusieurs trajets lumineux nous reliant à la source. Ainsi un même astre peut être vu simultanément en plusieurs positions différentes et surtout à plusieurs instants différents de son évolution, les écarts se comptant en mois ou en années: exprimé de façon imagée, un habitant d'un tel astre pourrait être vu simultanément enfant, adulte et vieillard, une possibilité qui semblait réservée à un film de science-fiction comme "2001, l'odyssée de l'espace"!

En plus de ces effets de multiplication d'images et de délai temporel, on s'attend à ce que les images soient déformées par le cisaillement. Un cas extrême de déformation correspond à l'alignement parfait entre source et défecteur qui étirerait et collerait les images au point de constituer un anneau. Dans la situation plus réaliste d'un léger défaut d'alignement on obtiendrait une image en forme d'arc de cercle...

Même s'il n'y a pas multiplication d'images, les excès de densité dans l'Univers vont provoquer une amplification (une atténuation pour une sous-densité) de la luminosité des sources situées derrière eux, et parallèlement un agrandissement, l'une et l'autre étant toujours liés par le théorème de conservation de la brillance superficielle (divisée par  $(1+z)^4$ ,  $z$  étant le décalage spectral). Dans le cas d'une lentille couvrant une grande région du ciel, comme un amas ou un superamas de galaxies très riche, c'est tout le cône d'Univers situé derrière cet amas qui peut se trouver perturbé: la reconvergence des rayons lumineux diminue le volume accessible, mais cet effet est dans la plupart des cas plus que compensé par l'amplification qui va permettre d'atteindre des objets beaucoup plus faibles, donc beaucoup plus lointains. La densité superficielle numérique de sources lointaines va s'en trouver localement augmentée; inversement la recherche d'objets très lointain à la limite des luminosités apparentes accessibles risque d'être soumise à un important effet de sélection, sachant que seront observées préférentiellement les sources plus brillantes précisément à cause des amplifications gravitationnelles.

Un type d'effet différent mais non moins intéressant est la possibilité de variabilité due au mouvement relatif d'une étoile ou d'un objet compact devant la ligne de visée d'une source de faible extension. Une telle "microlentille" peut agir comme une véritable loupe différentielle sur un objet très structuré comme un quasars, amplifiant plus ou moins des régions d'émission différentes de la

source et donc révélant sa structure.

Enfin il ne faut pas oublier que la gravitation n'a pas que des effets sur la luminosité ou le diamètre des sources lointaines mais aussi sur leur décalage spectral. On s'attend à ce que le centre d'un amas de galaxies soit décalé vers le rouge par rapport à une galaxie de champ située à la même distance: c'est une généralisation du décalage vers le rouge d'Einstein qui constitue un des trois tests classiques de la Relativité Générale. Mais il y a mieux: un rayon lumineux venant de l'infini et traversant le puits de potentiel en expansion différentielle d'un amas ou d'un superamas va également subir un décalage spectral excédentaire. Un tel effet est au temps ce que la déviation des rayons lumineux est à l'espace: ceci est corroboré par le fait remarquable, que j'ai pu démontrer de la manière la plus générale, que la prédiction relativiste est exactement le double du résultat obtenu dans un calcul Newtonien, comme c'est déjà le cas pour la déflexion de la lumière. Cet effet, trop faible pour s'appliquer à des galaxies, pourrait néanmoins diminuer localement la température du corps noir cosmologique de manière observable dans certaines conditions particulières.

Nous allons voir maintenant que la plupart des effets de lentille gravitationnelle prédits par la théorie ont été effectivement observés ces dernières années. Le domaine des observations de lentilles gravitationnelles est en effet en pleine effervescence. Tout a commencé en 1979 avec la découverte par Walsh, Carswell et Weymann du premier mirage gravitationnel, le quasar double 0957+561: deux quasars pratiquement de même luminosité séparés de 6 secondes d'arc et ayant exactement le même spectre et le même décalage spectral  $z=1.41$ . Quelques mois plus tard la galaxie et l'amas responsables de cette multiplication d'image furent découverts indépendamment par Stockton et Young et al. D'autres candidats ont rapidement suivi, en particulier le quasar triple PG1115+080, dans l'analyse duquel se sont particulièrement illustrées des équipes françaises: mise en évidence de nouvelles images (Vanderriest et al., 83; Foy et al., 85), de la variabilité et du délai temporel (Vanderriest et al., 86).

Le nombre total de mirages probables connus actuellement est d'une dizaine, seulement 4 d'entre eux pouvant être considérés comme quasi certains (observation de spectres individuels des images, du défecteur, modèle cohérent rendant compte de toutes les caractéristiques de la configuration dans tous les domaines de longueur d'onde). Jusqu'à une époque récente il s'agissait toujours de quasars, leurs grandes distances et luminosités, leur apparence quasi-stellaire et les raies d'émission larges et intenses de leurs spectres en faisant des sources idéales. Pourtant j'avais suggéré avec H. Karoji, dès 1976, que des effets statistiques d'amplification par les amas de galaxies les plus riches sur des galaxies plus lointaines existaient de manière significative: la méthode originale que nous avons mise au point et qui a resservi par la suite, consistait à comparer dans un échantillon donné les objets situés derrière des amas à ceux dont la ligne de visée n'avait traversé aucune hétérogénéité avant de nous parvenir.

De plus des effets individuels sur des galaxies peuvent également être repérés: l'un d'entre eux concerne un objet extraordinaire, le quintette de galaxies VV172, et permet de visualiser plusieurs des effets de lentille décrits plus haut. Le cas de ce groupe compact de 5 galaxies de luminosité et de diamètres équivalents faisait figure de mystère depuis la découverte dans les années

60 que l'une d'entre elles possédait un décalage vers le rouge plus de deux fois supérieur aux quatre autres. L'existence d'autres exemples de "quintettes discordants" comme ceux de Stefan et de Seyfert, rendaient l'hypothèse de la simple projection fort improbable statistiquement. La solution d'un tel puzzle a été trouvée récemment par F. Hammer et moi-même: la lentille gravitationnelle formée par le quartette compact de galaxies peut amplifier et agrandir une galaxie plus lointaine au point de la rendre semblable à elles; quant au problème statistique posé par tous les cas connus de ce type, il disparaît en prenant en compte l'effet de changement de densité numérique!

Mais peut-on envisager une multiplication d'images sur une galaxie dans son ensemble? Seules des galaxies situées à des distances qui sont en général du domaine des quasars pourraient donner lieu à un tel mirage. Les radiogalaxies lointaines du catalogue 3CR, découvertes par Spinrad et ses collaborateurs, sont des candidats idéaux, avec leurs décalages spectraux supérieurs à 1 et atteignant 1.85. Plusieurs arguments m'ont conduit à proposer avec F. Hammer que les effets d'amplification gravitationnelle par les amas et les galaxies (parfois avec multiplication d'images) perturbaient significativement les observations de cet échantillon lointain: l'énorme surluminosité de ces objets (d'un facteur dépassant 100), difficile à rendre compte intégralement par l'évolution; la mise en évidence d'un biais de sélection dû aux amplifications sur les galaxies les plus brillantes des amas et son extrapolation à  $z > 1$  (dans la recherche de sources à la limite de détectabilité, celles qui sont amplifiées seront découvertes préférentiellement); le fait que de la matière (galaxies ou amas) soit effectivement observée sur la ligne de visée de beaucoup de ces objets. Un des meilleurs candidats semblait être 3C324, dans le spectre duquel j'avais pu identifier, en plus des raies à  $z=1.21$ , un autre système de raies à  $z=0.84$ , suggérant une superposition d'objets. Seules des observations au télescope de 3m60 CFH pouvaient faire avancer la question, grâce à la qualité d'images exceptionnelle du site. Deux mois seulement après notre prédiction, les premières observations CCD faites par O. Le Fèvre avec un seeing de 0.6" montrèrent exactement la configuration attendue: une structure en 3 composantes alignées, la lentille éventuelle entourée par ce qui pourrait être les deux images principales. Devant la difficulté d'obtenir des spectres individuels de chaque composante (objets de magnitude  $\approx 23$  séparés par moins d'une seconde d'arc), l'existence de raies d'émission aux deux décalages spectraux suggérait des observations en filtres interférentiels centrés sur ces raies. Faites moins d'un mois plus tard, elles apportaient un argument très fort en faveur de l'hypothèse du mirage gravitationnel: dans la raie à  $z=0.84$ , seule demeure la composante centrale, tandis que les composantes extérieures sont seules observées à  $z=1.21$ . Bien qu'il faille rester conscient que seule l'obtention de spectres de chaque composante permettrait d'en acquérir la certitude, il semble bien qu'il s'agisse du premier cas connu de multiplication d'image sur une galaxie géante.

La nature des effets gravitationnels escomptés change avec la structure des défecteurs. Si d'une grande structure comme un amas, un superamas ou un filament de galaxies on n'attend qu'un effet d'amplification -et ses conséquences statistiques- sans multiplication d'images, une galaxie géante ou le centre compact d'un amas très riche pourra multiplier et déformer les images à l'échelle

de la seconde d'arc. Par contre la séparation des images due à une étoile ou un objet compact n'est que de l'ordre de  $10^{-6}$  secondes d'arc, inatteignable actuellement même en VLBI. Pourtant de tels déflecteurs sont susceptibles de provoquer un effet original et tout aussi intéressant: une variabilité et une amplification différentielle capable de changer la nature apparente d'une source. J'ai proposé en 1985 que de tels effets de "microlentille" n'étaient pas à rechercher dans de nouveaux objets encore inconnus, mais expliquaient fort bien l'ensemble des propriétés de certains quasars violemment variables en optique (OVVs) comme le BLLac 0846+51. Ainsi la ligne de visée qui nous lie à cet objet traverse une galaxie proche, et on peut montrer que l'amplification par un corps compact de  $10^{-2}$  masses solaires passant devant la région émettant le continu rend compte de la variation de luminosité (4 magnitudes en moins d'un mois); du changement de spectre, BLLac (sans raies d'émission) au maximum, quasar au minimum; et de la variation de couleur et de polarisation, toujours corrélées aux variations de luminosité.

Plusieurs objets du même type sont en cours d'étude, dont l'un particulièrement remarquable: l'existence d'une pseudo-périodicité dans la courbe de lumière peut être interprétée comme due au passage d'une étoile double sur la ligne de visée, si bien que les variations de luminosité reflèterait son mouvement képlérien. Non seulement une telle hypothèse permet de reproduire avec une grande précision la courbe de lumière passée, mais aussi de prédire son évolution future, ce qui est une situation très rare dans le domaine extragalactique: il nous suffit maintenant d'attendre une vingtaine d'années pour être définitivement fixés!

Parallèlement à ces effets sur des objets individuels, il se confirme de plus en plus que des effets statistiques d'amplification perturbent significativement nos observations des objets les plus lointains. C'est le cas des galaxies les plus brillantes des amas, des radiogalaxies de  $z > 1$  du 3CR, mais aussi des quasars. Ainsi peut on appliquer les derniers résultats de la théorie des lentilles gravitationnelles multiples aux QSOs à raies d'absorption: on trouve alors une forte corrélation entre la magnitude "absolue" de ces objets et la prédiction de l'amplification par des déflecteurs multiples situés aux décalages spectraux d'absorption. Cet effet rend compte partiellement de l'évolution apparente des quasars.

Rappelons pour finir la découverte récente de ce qui pourrait s'avérer comme le plus beau et spectaculaire effet de lentille gravitationnelle: l'arc extragalactique géant dans l'amas A370 (Soucail, Fort, Mellier, Picat, Mathez). D'autres structures du même type ont ensuite été observées dans d'autres amas (2244-02, A2218). En ce qui concerne A370, la même équipe a maintenant confirmé par la mesure de son décalage spectral que l'arc est situé derrière l'amas; de plus le modèle de lentille établi par F. Hammer rend compte en détail de sa forme et de sa luminosité. Il s'agit donc bien d'un "anneau d'Einstein", l'image étirée en arc de cercle d'une galaxie lointaine par les régions centrales compactes de l'amas, effet longuement recherché depuis sa prédiction par Zwicky dans les années 30.

## A PROPOS DE LA TROISIEME LOI DE KEPLER

### Représentation graphique appliquée au système solaire et aux étoiles doubles

---

---

Kepler a fait bien des tentatives pour essayer de pénétrer la belle ordonnance du système solaire. C'est seulement en 1619, dans son dernier grand ouvrage "Les Harmonies du monde", qu'il énonce sa troisième loi permettant de relier les dimensions de l'orbite des planètes à leur période de révolution. Puis, grâce à Newton qui découvrit l'attraction universelle, on dispose d'une relation très simple qui s'applique au problème des deux corps ; en utilisant des unités appropriées, elle s'écrit :

$$a^3 P^{-2} = \sum M \quad (1)$$

$a$  = demi grand axe de l'orbite en ua (1 unité astronomique = distance moyenne de la Terre au Soleil soit environ 150 millions de kilomètres),

$P$  = période de révolution en années,

$\sum M$  = somme des masses des deux corps, la masse du Soleil étant prise pour unité.

Noter qu'un moyen simpliste de retrouver cette formule consiste à écrire que l'attraction de l'astre central correspond à l'accélération radiale d'un mouvement circulaire uniforme. La formule complète, valable dans n'importe quel système d'unités homogène, s'écrirait :  $a^3 P^{-2} = \frac{GM}{4\pi^2}$  ( $G$  = constante de la gravitation).

Pour illustrer cette relation de la troisième loi, nous présentons des graphiques en coordonnées logarithmiques (les "échelles" sont en progression géométrique).

#### 1. Application au système solaire (graphique 1)

---

---

La masse du Soleil est beaucoup plus importante que celle des planètes qui gravitent autour de lui ; avec une bonne approximation, on peut négliger la masse de ces dernières et la relation (1) devient, avec un choix judicieux des unités :

$$a^3 = P^2$$

Sur le graphique représentant la période de révolution en fonction du demi grand axe de l'orbite, les points représentatifs des différentes planètes s'alignent sur une droite. Ce graphique est bien sûr utilisable pour tous les astres gravitant autour du Soleil, astéroïdes, comètes périodiques, ... Noter le double intérêt de l'utilisation des coordonnées logarithmiques : la relation se traduit graphiquement par une droite et on peut représenter sur un même graphique des valeurs sur une grande

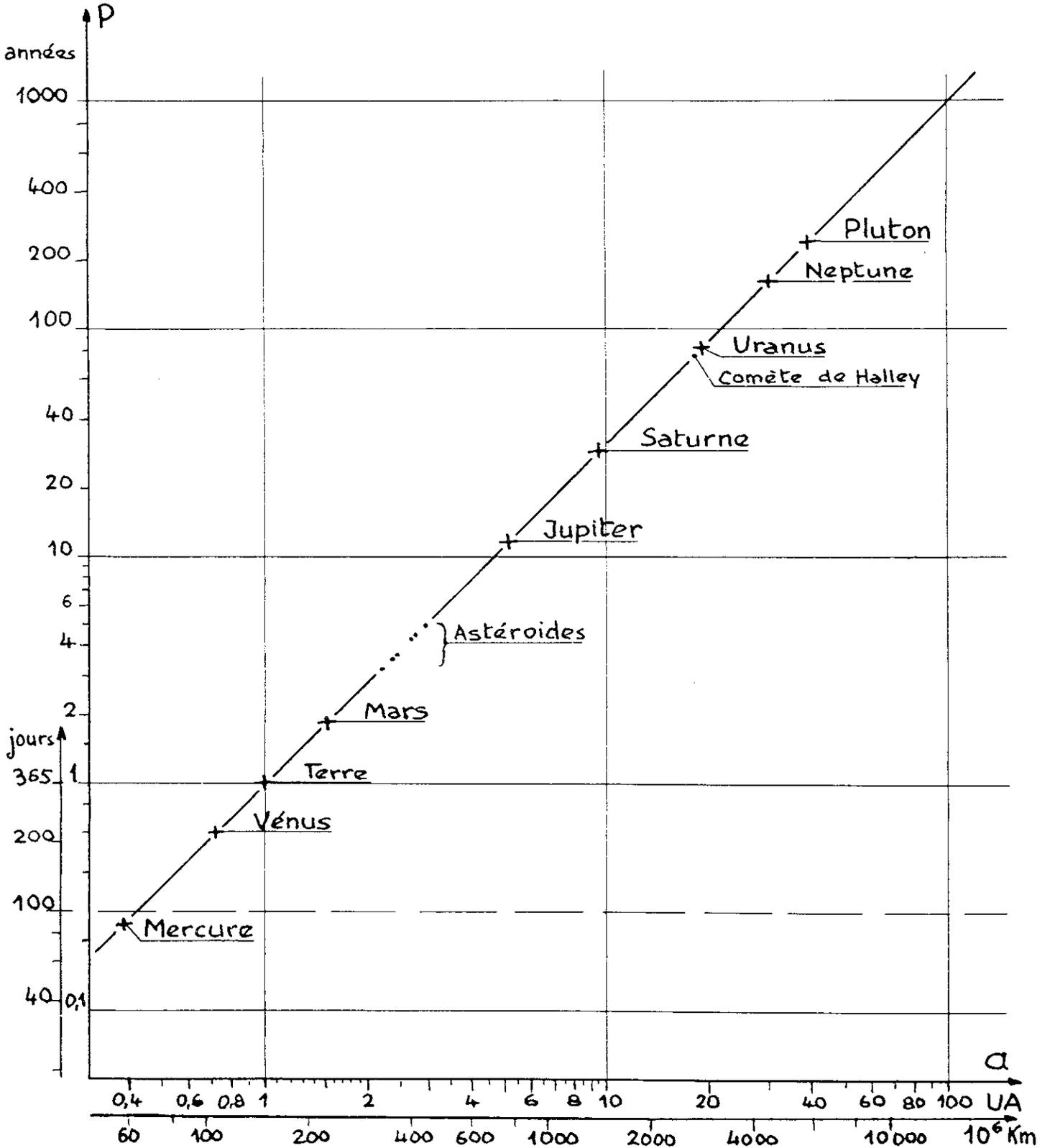
Graphique 1

Mouvement des Planètes autour du Soleil

Relation  
 $a^3 = P^2$

$a$  demi grand-axe UA

$P$  période de révolution années



étendue ; un changement d'unité de mesure se traduit par un simple "glissement d'échelle".

## 2. Application aux étoiles doubles (graphique 2)

---

La relation (1) s'écrit alors :  $a^3 P^{-2} = M_A + M_B$

où  $a$  est exprimé en unités astronomiques,  $M_A$  et  $M_B$  désignant les masses des deux étoiles, l'unité étant la masse du Soleil.

Pour faire apparaître les grandeurs mesurables depuis la Terre, on écrit :

$$a''^3 p''^{-3} P^{-2} = M_A + M_B$$

$a''$  = demi grand axe apparent depuis la Terre mesuré en secondes d'angle,  $p''$  = parallaxe trigonométrique en seconde d'angle (d'après la définition de la parallaxe, angle sous lequel on voit l'unité astronomique depuis l'étoile ).

Cette relation est extrêmement intéressante pour connaître la masse des étoiles puisque c'est le seul moyen direct de déterminer  $M_A + M_B$  et par là  $M_A$  et  $M_B$  grâce à d'autres considérations (voir à ce sujet, dans le livre de Paul Couteau "L'observation des Etoiles Doubles visuelles", les pages consacrées au calcul des masses des étoiles, page 146 et suivantes).

Les résultats de détermination de masse d'étoiles montrent que le Soleil est à la moyenne et que neuf sur dix des étoiles ont une masse comprise entre 0,4 et 2 masses solaires, les extrêmes se situant vers 0,07 et 20. L'étendue est donc relativement faible.

Sur le graphique 2, établi avec les mêmes échelles que le précédent, la relation période-demi grand axe pour différentes masses se réduit à un faisceau de droites graduées en masse. 48 couples d'étoiles doubles visuelles dont la détermination directe de la masse est digne de confiance sont indiqués sur le graphique (couples répertoriés par P.Couteau p.156...). Noter que l'on connaît bien l'orbite, vue de la Terre, d'un nombre beaucoup plus important de couples d'étoiles (plus de 750) mais il n'y a qu'une cinquantaine de couples dont la parallaxe est assez bien mesurée pour permettre une bonne détermination de la distance, et par là de la masse.

## 3. Données relatives aux mouvements (graphique 3)

---

Sur le graphique 3, ont été rassemblées des données relatives aux mouvements des corps du système solaire et des étoiles doubles. Les échelles ont été modifiées pour embrasser une plus grande étendue et couvrir des astres plus divers.

Graphique 2

# Mouvement et Masse des Etoiles doubles

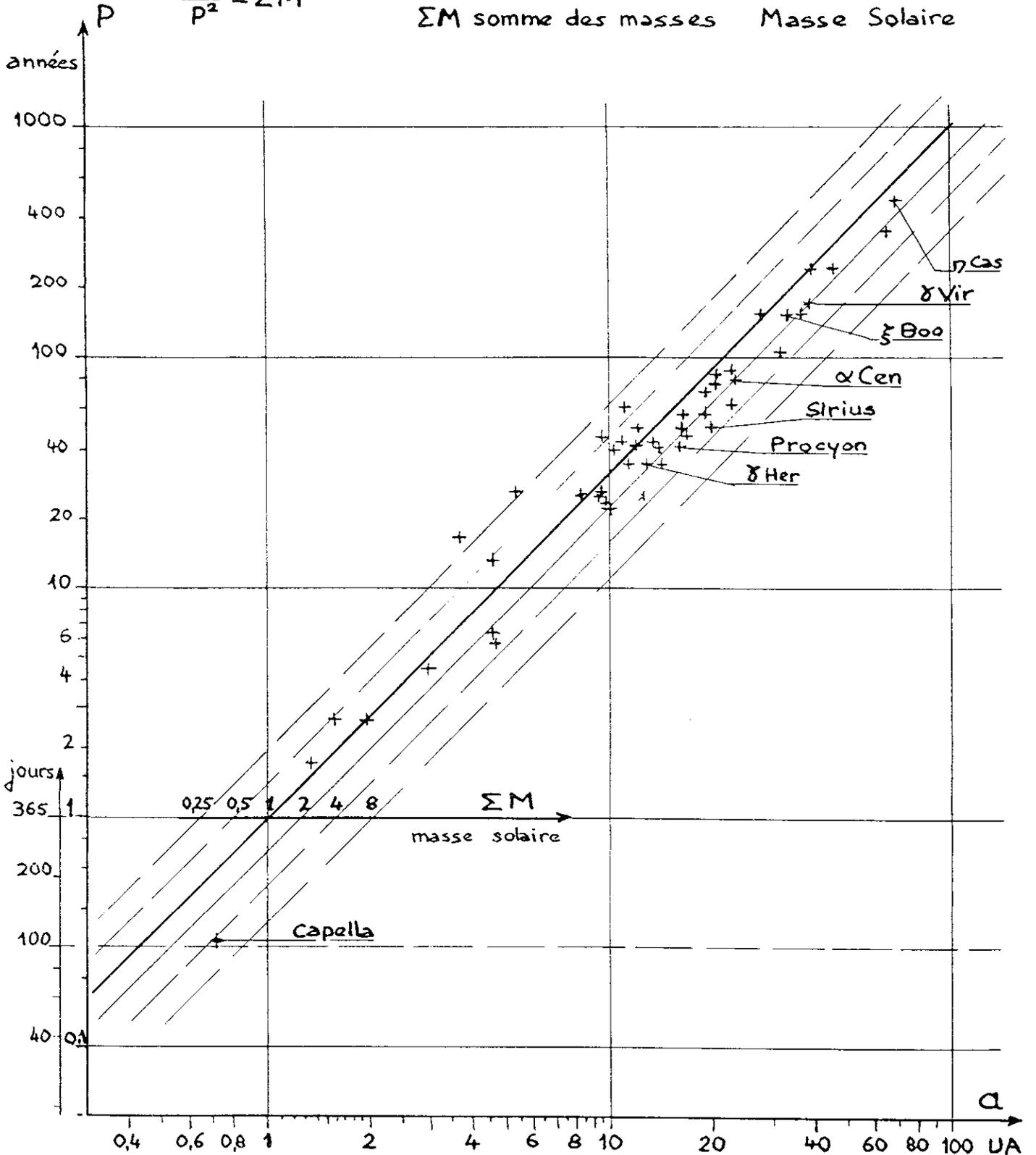
Relation  

$$\frac{a^3}{P^2} = \Sigma M$$

$a$  demi grand-axe UA

$P$  période de révolution années

$\Sigma M$  somme des masses Masse Solaire

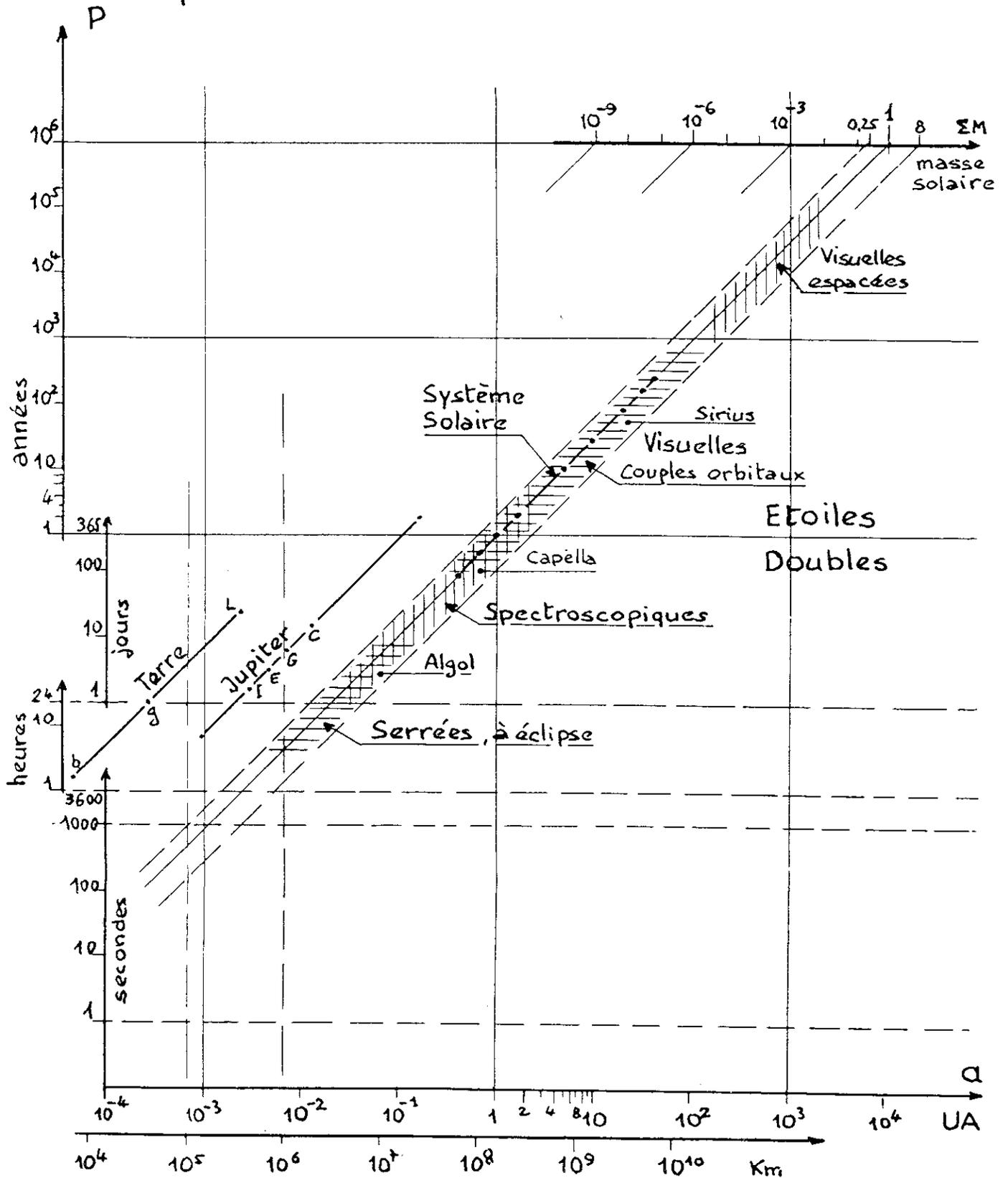


Graphique 3

Application de la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler

$$\frac{a^3}{P^2} = \Sigma M$$

- au Système Solaire
- aux Etoiles Doubles



Au centre du graphique 3, on retrouve la droite du graphique 1 correspondant au système solaire. Chaque point représente le mouvement des différentes planètes autour du Soleil.

Le mouvement des satellites de Jupiter autour de la planète peut également être représenté, Jupiter ayant une masse d'environ 1/1000 de celle du Soleil, la droite représentative se trouve décalée d'autant. Sont représentés IO (I), Europe (E), Ganymède (G) et Callisto (C).

De même le mouvement de la Lune (L) et des satellites artificiels autour de la Terre est représenté par une droite. (g) correspond aux satellites géostationnaires et (b) aux satellites restant à basse altitude.

Etoiles doubles. L'utilisation d'échelles plus étendues permet de repérer la classification des étoiles doubles, classification fondée sur les moyens d'observation utilisés :

a) Les étoiles doubles visuelles (observables directement au télescope) sont extrêmement nombreuses. Le catalogue publié par l'Observatoire Lick en 1963 contient 64 246 systèmes d'étoiles doubles visuelles. Parmi ces couples, certains ont un mouvement tellement lent, à notre échelle humaine, qu'on peut les considérer comme des "couples fixes", la distance des deux composantes étant de plus de cent unités astronomiques ; ils se trouvent en haut à droite sur le graphique. D'autres constituent des couples orbitaux dont le mouvement est assez rapide et dont la séparation est suffisante pour pouvoir être observée (partie centrale du graphique, recouvrant le système solaire). C'est parmi ces couples que figurent les 45 couples du graphique 2.

b) Les doubles spectroscopiques sont détectées grâce au déplacement périodique ou au dédoublement de leurs raies spectrales. Ce sont des couples assez serrés pour que les vitesses de déplacement soient grandes. On connaît les caractéristiques des orbites de près de mille de ces couples.

c) On connaît plus de 4 000 systèmes de doubles à éclipse dont la période va de quelques heures à une dizaine de jours. Ce sont donc le plus souvent des couples serrés et pour certains, il y a contact entre les deux étoiles et échange de matière.

On peut estimer qu'environ la moitié des étoiles appartiennent à un système double ou multiple, ce qui justifie le grand intérêt porté à l'étude de ces systèmes. Dans le cas des systèmes multiples, la gravitation commande évidemment les mouvements respectifs des composantes mais la troisième loi de Kepler est mise en défaut car il y a plus de deux corps.

Robert Perrin

## UN CADRAN SOLAIRE AVEC LA MAIN

---

---

Les proportions (longueur et largeur) d'une main moyenne sont telles que l'on peut la transformer sans grandes difficultés en un cadran solaire (de faible précision) utilisable durant la belle saison. Pour effectuer cette transformation :

- 1) Se munir d'une bridille ou d'un fétu de paille de la même longueur que l'auriculaire ;
- 2) Placer cette tige entre l'annulaire et l'auriculaire de la main gauche, paume tournée vers le bas comme le montre la figure 1 ; l'extrémité libre de la tige est tournée vers le haut ;
- 3) Placer les deux mains horizontales index contre index paume vers le bas en présentant les doigts perpendiculairement à la direction du Soleil ;
- 4) Lire l'heure en repérant la position de l'ombre sur les doigts sachant que 12 h correspond au premier doigt, 11 h et 13 h au 2<sup>ème</sup>, ...

Application et précision :

Longueur de l'auriculaire : 6,5 cm  
Largeur moyenne des doigts : 2,2 cm  
Épaisseur des doigts : 2 cm

La tige dépassant de 6,5 - 2 cm, sa hauteur réelle est de 4,5 cm. La hauteur  $h$  du Soleil correspondant au doigt  $n$  est donnée par la relation :

$$\tan h = 4,5 / (2,2 n)$$

Sachant que  $n=1$  correspond à 12 h,  $n=2$  à 13 h, ... on peut dresser la table suivante :

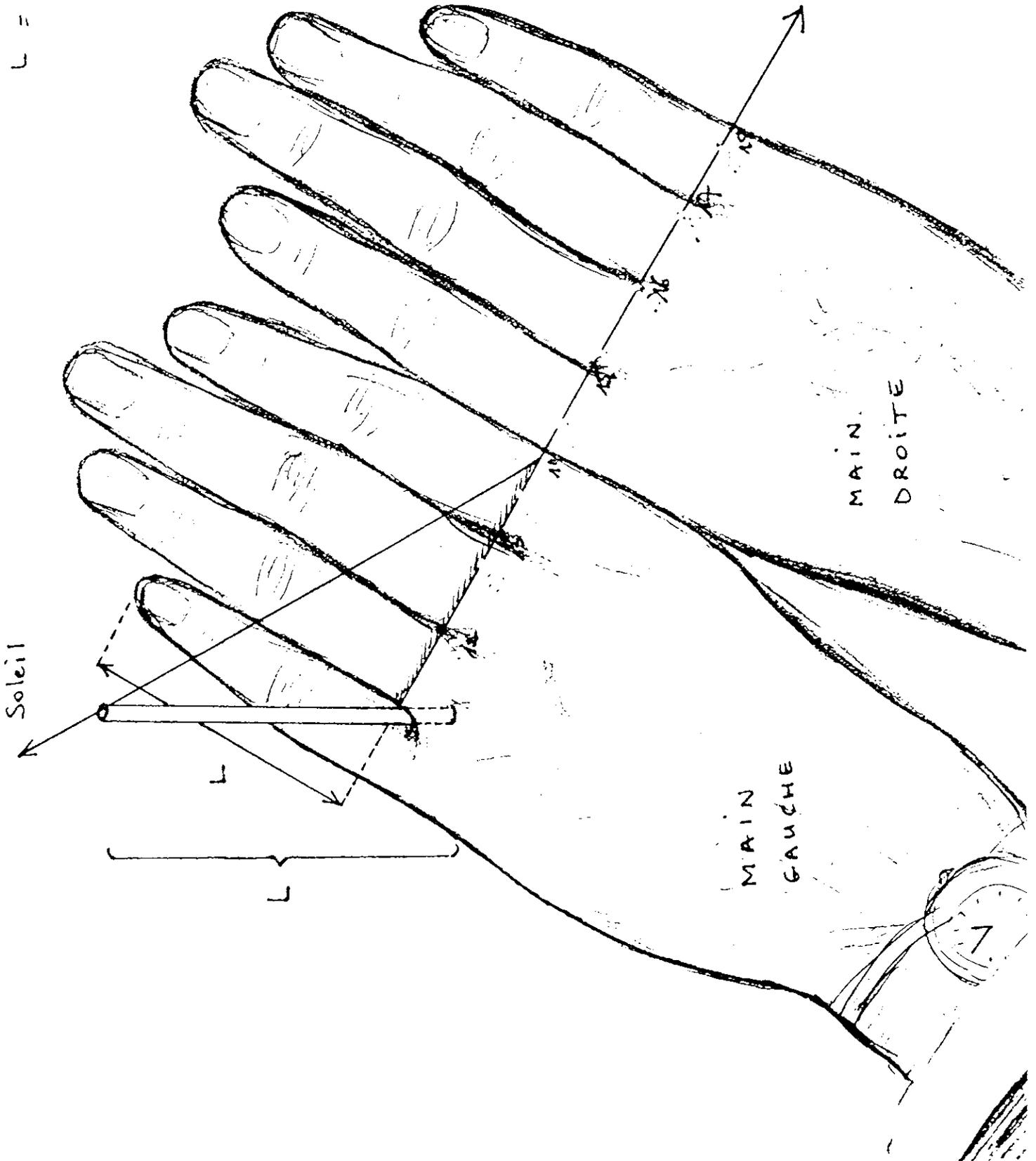
n	1	2	3	4	5	6	7
Heure	12	13	14	15	16	17	18
$h(^{\circ})$	64	45	34	27	22	19	16

Cette table (avec une table symétrique pour le matin) permet de tracer la correspondance entre l'heure lue et la hauteur du Soleil (fig 2). Il est important de comparer cette information à la réalité à différentes dates en reportant la hauteur du Soleil en fonction de l'heure solaire vraie. Sur la figure 2, le faisceau des courbes a été calculé pour la période juin-octobre (par symétrie on obtient la période mars-juin) et ceci pour une latitude géographique de 47°. On peut constater l'accord approximatif entre les informations du cadran et la réalité : si l'accord n'est parfait à aucune date, l'heure fournie par le cadran ne s'écarte jamais de plus de 1h 1/2 dans la période mars-septembre ce qui le rend tout à fait utilisable durant la belle saison. Les figures 3 et 4 donnent directement la comparaison entre la lecture et la réalité ainsi que l'erreur de lecture. Pour se convaincre de la précision de ce cadran, on peut comparer la lecture à l'heure affichée par la montre sur la figure 1.

Jean-Paul Parisot et Françoise Suagher  
Observatoire de Besançon

N-B - Nous devons l'idée de ce cadran à M.Gaudemet qui a utilisé un tel cadran dans sa jeunesse.

L = Longueur de  
l'auriculaire



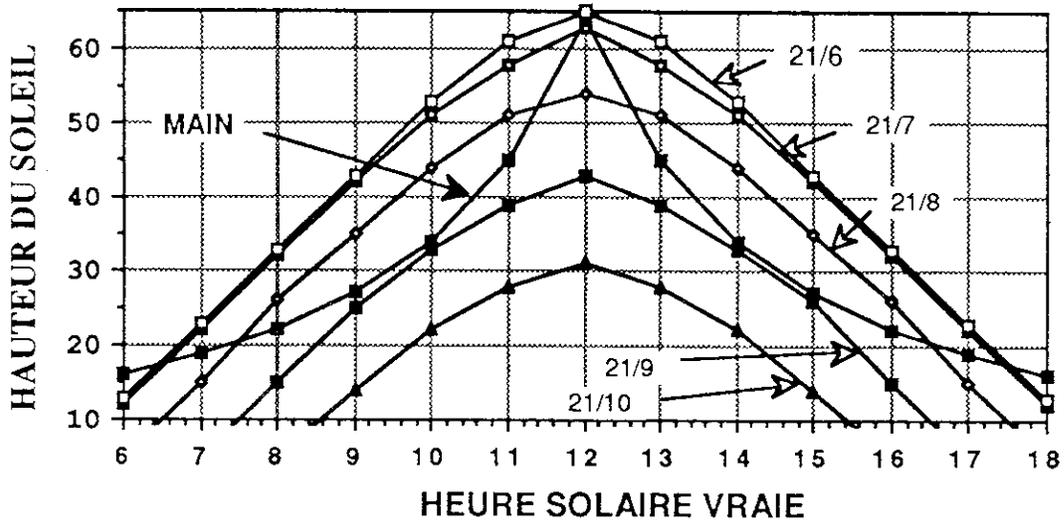


Figure 2 ; Le faisceau de courbes donne la correspondance et la hauteur du Soleil et l'heure solaire vraie à une latitude de 47°. La courbe "MAIN" représente la même information lue sur le cadran de la main.

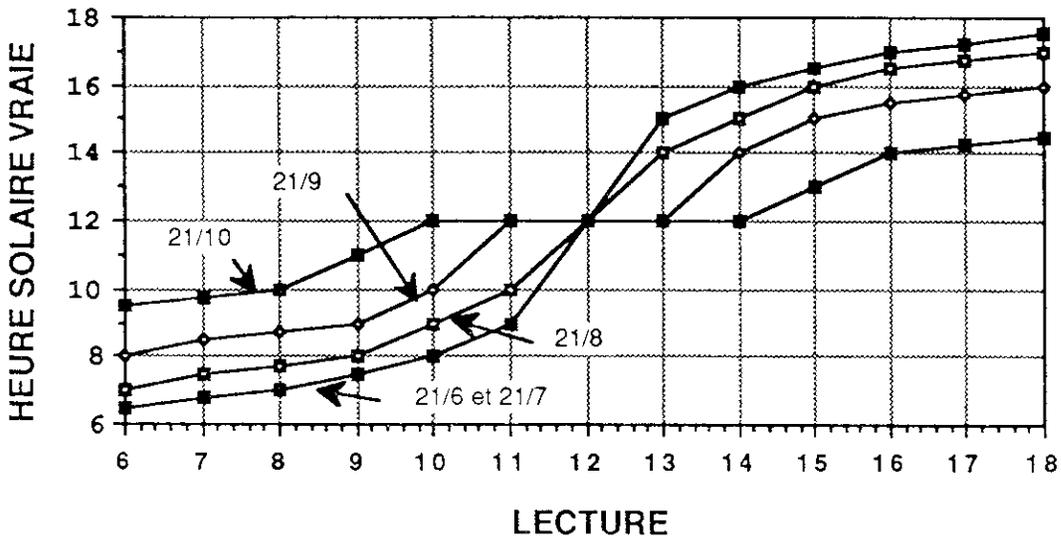


Figure 3 : Correspondance entre l'heure solaire vraie et l'heure lue sur le cadran de la main à différentes dates de l'année.

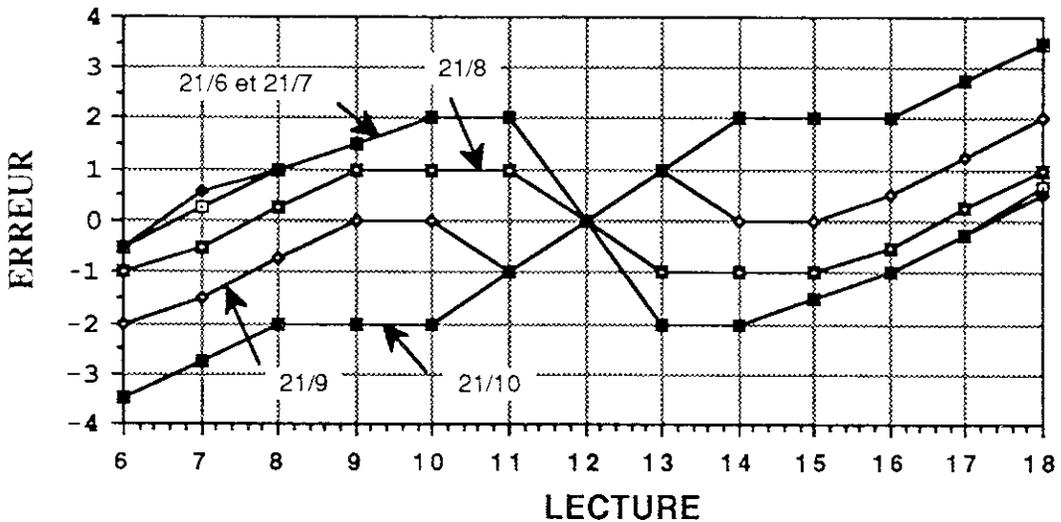


Figure 4 : Erreur entre la lecture et l'heure solaire vraie (cette courbe est déduite directement de la figure 3).

## LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

### LES GALAXIES FAIBLES DOMINENT-ELLES DANS L'UNIVERS ?

Les galaxies apparaissent sur les clichés photographiques comme des images étendues et plus ou moins contrastées par rapport au fond du ciel. On comprend que la détectabilité photographique des galaxies dépend de la concentration de lumière dans cette image et pour des conditions instrumentales données, elle est liée à ce que l'on appelle la brillance superficielle (notée BS dans la suite) de la galaxie. Celle-ci est simplement la puissance lumineuse rayonnée par la galaxie rapportée à sa surface sur le ciel. Les mesures photométriques fournissent la magnitude apparente à l'intérieur de différentes aires concentriques autour du centre de la galaxie et en particulier, par extrapolation la brillance superficielle centrale notée S; la BS s'exprime en magnitude apparente par seconde d'arc au carré. Depuis près de 20 ans on a constaté que les galaxies spirales ont pratiquement le même paramètre S ( $S \approx 21,75$  dans le bleu), mais il pourrait s'agir, au moins partiellement, d'une similitude artificielle due à des effets de détectabilité. En effet, une galaxie de faible BS peut facilement échapper à la détection parce que sa faible émission par unité de surface est noyée dans la lumière du fond de ciel.

Les progrès récents des techniques photographiques ont permis effectivement de détecter une population importante, inconnue jusqu'ici, de galaxies à faible BS. Ces études sont menées en étudiant très profondément les clichés à grand champ obtenus avec les plus grands télescopes de Schmidt, sur des amas de galaxies, c'est-à-dire dans un ensemble de galaxies toutes situées à une même distance. En 1985, une telle population importante a été mise en évidence dans l'amas Virgo avec des galaxies de faible BS qui ne sont pas toutes des galaxies intrinsèquement peu lumineuses et peu massives.

Récemment, des astronomes anglais ont mené une étude systématique de grande ampleur dans l'amas de galaxies Fornax à partir d'un cliché couvrant  $4^\circ \times 4^\circ$  obtenu avec le télescope de Schmidt du Royaume-Uni installé en Australie. Le traitement s'effectue à l'aide d'une puissante machine automatique à mesurer les clichés qui détermine le fond de ciel, détecte les images de galaxies au-dessus d'un seuil qui est environ 5% de la brillance du ciel et réalise la photométrie de surface de chaque objet détecté pour obtenir S. L'échantillon étudié est complet jusqu'à la magnitude apparente limite 19,1. Une première étude sur les galaxies les moins lumineuses concerne 1550 galaxies pour lesquelles on a trouvé S allant de 20 à 24. Ces galaxies constituent en fait deux populations. L'une est constituée de galaxies spirales classiques réparties dans le champ avec une distribution **gaussienne** de la BS centrée à 21,75 et l'autre est une population liée à l'amas lui-même avec S distribué **uniformément** de 22,5 à 24,2; ces valeurs correspondent à une luminosité par unité de surface qui est 2 à 10 fois plus faible que pour les spirales classiques. Autre résultat surprenant : le nombre de telles galaxies augmente à mesure que l'on considère des galaxies de moins en moins lumineuses. Cela implique, si une telle tendance se poursuivait, que l'on doit s'attendre à trouver un très grand nombre de galaxies ayant de très faible luminosité et de très faible BS dans les sondages profonds d'amas. La population dominante des amas aurait échappé jusqu'ici à l'observation!

Plusieurs autres implications importantes découlent de ce travail: pourquoi S est-il si constant pour toutes les spirales de champ ? Quels scénarios de formation des galaxies et d'évolution des amas explique que les galaxies à faible BS sont communes dans les amas et rares dans le champ général ? Ces galaxies peuvent-elles être l'explication de la "masse manquante" ?

## Le petit-neveu de Camille Flammarion



"J'aime mieux être, et même être impertinent raisonneur, que de n'être pas."

Diderot

Le Neveu de Rameau

Cette histoire aurait pu commencer comme l'autre : "Qu'il fasse beau, qu'il fasse laid, c'est mon habitude d'aller sur les cinq heures du soir me promener au Palais Royal." A ceci près que c'est plutôt au début de l'après-midi que j'aime faire une promenade au parc de St Cloud et que je n'aurai pas le talent de Diderot pour raconter la curieuse rencontre que j'y fis.

J'avais souvent remarqué parmi les promeneurs un original à longue barbe, au vêtement flottant un peu excentrique et qui soliloquait tout en marchant. L'autre jour, peut-être était-ce l'effet d'un rayon de Soleil annonciateur du printemps, je m'assis pour en jouir tout en relisant un article des Cahiers Clairaut - je me sépare rarement du dernier numéro paru. J'étais donc absorbé dans ma lecture et fus d'autant plus surpris, mon vieil original venait de s'asseoir à côté de moi et entamait aussitôt la conversation.

Lui - Je vois que vous vous intéressez à l'astronomie.

Moi - Vous avez deviné juste. Mais, cher Monsieur, vous également, si j'en crois cet excellent livre de Gérard Simon sur Kepler que vous avez sous le bras, ce n'est pas seulement pour lui faire prendre le bon air du parc.

Lui - Esprit de famille, pourrait-on prétendre ; un de mes grands oncles a beaucoup fait parler de lui chez les astronomes et chez les amateurs d'astronomie. Pourtant, je ne lui ressemble guère.

Moi - Vous lisez pourtant ce livre sur Kepler qui est passionnant et que votre grand oncle aurait mis en bonne place dans sa bibliothèque.

Lui - Je ne comprends pas tout, il est trop savant pour moi. J'ai été attiré par son sous-titre.

Moi - Ah oui, "astronome astrologue". Gérard Simon montre bien "ce qu'ont pour nous d'incroyables les convictions qui sont les siennes" (celles de Kepler) et, en même temps, avec quelle rigueur Kepler entreprend une critique méthodique des fantaisies que la plupart des astrologues construisaient (et construisent toujours, ajouterai-je) à partir des données de l'observation ou plutôt à partir des données qui leur conviennent.

Lui - Ce que je retiens, c'est qu'un astronome aussi savant que Kepler pouvait avoir ces convictions dont vous dites un peu vite qu'elles sont incroyables.

Moi - Je le dis vite, parce qu'il ne devrait pas être utile de s'y attarder. Elles sont incroyables pour tous ceux qui veulent bien considérer les règles de l'astrologie -puisque'il y a des règles - ainsi que les résultats qu'en tirent les astrologues -et là il suffit de lire les pages des journaux qui se déshonorent en les publiant - à la lumière des données de la science. Nous ne sommes plus au seizième siècle.

Lui - Quoi ! Devrait-on dire vérité d'hier, erreur d'aujourd'hui ? La science astronomique de 1988, renie-t-elle les travaux et les idées des précurseurs ?

Moi - Certes non. Mais on ne peut mettre sur le même pied les relations de la science rationnelle avec son histoire et celles de l'astrologie avec ses traditions. Dans le premier cas, rien de plus facile que de reconnaître chez les précurseurs certains faux pas dont l'analyse est souvent riche d'enseignements sur les progrès de la science et sur la genèse des découvertes. Alors que l'attachement de l'astrologie à ses traditions est un comportement aveugle et sclérosant, des marchands d'horoscopes prétendent se moderniser parce qu'ils utilisent des ordinateurs mais les ordres qu'ils donnent à leurs machines sont identiques à ceux des voyantes des temps anciens. L'exemple de Kepler est particulièrement intéressant à ce sujet, c'est avec lui que commence une véritable critique scientifique de l'astrologie. Dans son livre sur "l'Amélioration des fondements de l'astrologie" (1602), il exprime son scepticisme sur maintes affirmations des astrologues. "Son souci, dit très bien Gérard Simon, est de trouver un modèle causal permettant de justifier les pratiques astrologiques ; quand il n'en trouve pas, il les abandonne." C'est la bonne méthode, suivons-la. Aujourd'hui, aucun modèle causal ne peut plus les justifier, l'astrologie devrait être morte et oubliée sous la poussière qui lui sied à merveille si des charlatans ou des illusionnistes ne trouvaient intérêt - intérêt financier - à réanimer ce cadavre.

Lui - Vous vous exaltez un peu vite. Reconnaissez au moins ce qu'il y avait de pertinent dans les observations accumulées par les astrologues.

Moi - Je reconnais sans difficulté le bien fondé de maintes affirmations des astrologues quand elles se limitent à l'énoncé de faits vérifiables. Ainsi, en 1488 (c'est un anniversaire, un demi millénaire), le fameux astrologue Johannes Lichtenberger attirait l'attention sur la conjonction de Jupiter et de Saturne qui se reproduit à intervalles de presque exactement vingt ans, d'une fois sur l'autre à un tiers de tour sur la carte du ciel. Autrement dit, la conjonction s'étant produite en 1484 dans la constellation de la Balance, devait se reproduire en 1504, cette fois dans le Scorpion, puis en 1524, cette fois dans les Poissons. Tout cela était vérifiable et le fut. Ce qui le fut moins, c'est que la conjonction de 1504 ne pouvait annoncer que des calamités "puisque'elle avait lieu dans le fatidique Scorpion", et que celle de 1524 ne pouvait provoquer que des inondations puisque'elle avait lieu dans les Poissons ! On connaît au moins 133 écrits sur ce thème des inondations de 1524 publiés antérieurement pour annoncer la catastrophe qui n'eut pas lieu. Martin Luther lui-même préfaça un livre de Lichtenberger, affirmant que "les signes dans le ciel sont l'oeuvre de Dieu". L'humaniste

italien Pico della Mirandola fut un des rares esprits de son temps à ne pas se laisser entraîner par ce courant de crédulité astrologique qui envahissait les media de l'époque.

Lui - Je vous vois venir avec votre allusion aux media. Vous vous insurgez contre l'horoscope présenté à la télévision. Vous êtes donc partisan de la censure.

Moi - Pas du tout. Il y a des lois qui interdisent l'apologie du crime ou les propagandes racistes. Quand il y a pollution quelque part, le ou les pollueurs doivent réparer les dommages provoqués. Dans les manifestations astrologiques, je vois, de bout en bout, des actes de pollution intellectuelle. On n'interdit pas de fumer mais on lance avec raison des campagnes contre le tabagisme. Je ne demande pas qu'on interdise la pratique de l'astrologie, je réclame que dans les télévisions et dans les journaux on trouve une place ou un moment pour des campagnes contre l'astrologie.

Lui - Je vois que vous êtes convaincu mais si vous parliez à la télé, ne croyez pas que cela suffirait à convaincre les autres. Vous m'avez persuadé qu'il y avait de la fantaisie dans les interprétations astrologiques - les Poissons et les inondations ! Mais ces fantaisies ne sont-elles pas leur plus bel attrait ?

Moi - Vous avez raison, les arguments raisonnables semblent se heurter à un mur. Cui, l'astrologie est sans fondement rationnel mais il est bien plaisant de s'abandonner à l'irrationnel. Je ne parviendrai jamais à m'en consoler.

Lui - C'est dommage pour vous. J'ai connu une moule du Pas de Calais qui malgré les pollutions de cette voie si fréquentée pensait que son rocher était le plus beau site du monde. Désirez-vous la détromper et la plonger dans le désespoir ?

Moi - Au revoir, Monsieur. C'est vous qui allez me faire désespérer.

#### Retour de promenade

Un peu dépité de n'avoir pas su bien argumenter et peut-être encore plus vexé ne n'avoir pas suffisamment laissé parler ce curieux ami d'une moule du Pas de Calais - qui plus est apparenté avec ce Flammarion qui est juste devant mes yeux dans ma bibliothèque -, j'ai repris les Ephémérides à la recherche des dernières conjonctions de Jupiter et de Saturne. Elles ont eu lieu le 18 février 1961 dans le Sagittaire et le 14 janvier 1981 dans la Vierge soit vingt ans moins 35 jours après.

Je proposerais volontiers à des petits élèves l'exercice suivant : sachant que la période sidérale de Jupiter est 4 442,59 jours et celle de Saturne 10 759,2 jours, il est facile de montrer que Jupiter "rattrape" Saturne tous les 7 253,46 jours soit environ 19,858 années.

Or pendant ces 7 253,46 jours, Jupiter a fait, sur son orbite  $7\ 253,46 : 4\ 442,59 = 1,674$  tour alors que Saturne n'a fait (c'est une vérification) que  $7\ 253,46 : 10\ 759,2 = 0,674$  tour.

Ce sont les mouvements sur le planétaire héliocentrique que vous avez construit. Vus de la Terre, dans le zodiaque, il y a des effets de parallaxe que je néglige. Un tour  $2/3$  pour Jupiter,  $2/3$  de tour pour Saturne. Pas étonnant que de 1961 à 1981 la conjonction soit passée du Sagittaire à la Vierge.

Quant aux calamités ou événements fastes annoncés par ces deux conjonctions, vous n'aurez aucun mal à en dresser la liste en vous reportant à votre journal habituel. Mais pas à la page de l'horoscope. Enfin, j'ai relu une page de Bailly :

\* XXII - Kepler commence le livre qu'il écrit sur cette étoile (l'étoile nouvelle observée dans le Serpente en 1604) par les conséquences astrologiques de son apparition. Il s'est cru obligé de débiter ainsi, ce qui doit être remarqué pour connaître l'esprit du siècle. Mais il ne le fait pas en homme persuadé ; au contraire il reconnaît la vanité de cette science, il la regarde comme une maladie de l'esprit humain (Cf De stelle nova, p.10). Qu'on nous permette une réflexion. Il y avait à peine cinq ans que Tycho était mort ; Kepler avait été son disciple & son admirateur ; comment un si petit intervalle de temps met-il tant de différence dans les opinions ? Cette différence est celle de l'éducation, & surtout du génie. Tycho n'était point revenu sur la croyance de sa jeunesse ; Kepler, quand son génie a été développé, examinait tout à son flambeau.

Il nie que les noms des signes du zodiaque aient aucun rapport avec leurs vertus prétendues. Kepler est obligé de montrer, par le raisonnement, que des espaces vides, divisés arbitrairement par les hommes, ne peuvent avoir aucune action ; & que les aspects des astres, s'ils ont des influences, ne laissent dans ces espaces aucune vertu, lorsque ces astres n'y sont plus. Il combat également l'opinion que les influences des étoiles ont un rapport naturel avec leurs noms. Ces noms sont arbitraires & de l'invention des hommes. Comme les levers des étoiles ont réglé longtemps les travaux de la campagne, on a pu nommer Arista l'étoile dont le lever annonçait la moisson, l'indemiatrix celle qui paraissait au temps de la vendange ; mais il est ridicule de croire que cette méthode ait été employée dans l'imposition des autres noms. Les étoiles ont été nommées dès qu'elles furent connues, & bien avant que l'expérience eût déterminé ce qu'elles pouvaient annoncer (ibid, p.20). Lorsqu'on voit d'un côté Tycho défendre cette erreur, & de l'autre Kepler l'attaquer, du moins en détail, ces soins si différents de deux grands hommes prouvent quel était encore l'empire du préjugé.

\* XXIII - Ce n'est pas que Kepler jût tout à fait libre du préjugé : il croit encore que les conjonctions des planètes peuvent avoir quelque effet sur les choses sublunaires ; il cite volontiers la coïncidence des grands événements politiques, des révolutions des empires avec les grandes conjonctions des planètes. On voit chez lui le combat de sa raison naturelle & de l'erreur commune ; son esprit éclairé tend à s'élever, mais il est retenu par le contrepois de l'habitude (ibid, p.27) : sa sagesse fut de discuter & des dogmes astrologiques, & des raisonnements qui les combattent. Il censure Pic de la Mirandole, qui s'était déclaré l'ennemi des astrologues ; il lui objecte que si le Soleil & la Lune, dans leurs conjonctions, ont quelque influence sur la Terre, la rencontre de Saturne & de Jupiter doit avoir quelque effet. Les deux grands luminaires sont plus près de nous, mais leurs conjonctions passent plus vite : celles des astres les plus éloignés, mais les plus lents, durent plus longtemps, & leur effets s'accroissent en s'accumulant. Au reste voici comment Kepler concevait les influences des astres, il les comparait à l'action des objets sur les sens ; les astres agissent sur les choses terrestres comme la lumière sur l'oeil, le son sur l'oreille, la chaleur sur le tact (ibid P.30). Quand la raison se place à côté de l'erreur, pour la suivre, celle-ci est bientôt démasquée. Les prédictions hasardées, les rêveries absurdes des astrologues décrédaient l'art : mais l'apologie de Tycho, les explications les plus favorables de Kepler, faisaient tort à l'astrologie ; car les gens sensés, qui naissent pour apprécier & les opinions & ceux qui les ont établies, pourraient juger de la cause, en comparant le mérite éminent de ses défenseurs avec la faiblesse de leur défense."

Jean-Sylvain Bailly - Histoire de l'astronomie moderne (1779)

Je n'ai regretté ni ma promenade au parc de St Cloud, ni ma rencontre, ni ma relecture de Bailly qui fut le premier à prêter le serment du jeu de paume et qui devint maire de Paris le 15 juillet 1789, une date facile à retenir.

## Rendez-vous (manqué) avec la Lune

On conseille parfois, pour prévoir une date d'accouchement, de consulter aussi un calendrier et d'y rechercher la date de la Pleine-Lune la plus proche du jour prévu ou encore la période de la Lune décroissante. Tout cela fait partie du lot commun des affirmations "gratuites".

J'ai voulu y voir plus clair. Voici la méthode employée.

Il s'agit de mettre en relation une date de naissance et l'âge de la Lune au même jour, c'est à dire la position de la Lune dans son cycle, la lunaison. Et ceci pour un grand nombre de naissances. De ce fait, cette étude nécessite un ordinateur (un petit).

Combien de dates sont nécessaires? La lunaison ayant une durée moyenne de 29,53 jours, j'ai choisi une moyenne de 50 naissances par jour d'âge lunaire:  $50 \times 29 = 1450$ . Ce sera le nombre de naissances à étudier.

Comment faire pour connaître un tel nombre de dates de naissances? Il serait maladroit a priori de prendre des dates au hasard, celui-ci donnant à coup sûr une répartition uniforme des naissances tout au long de la lunaison. Bien que ce soit là en fait le résultat que l'on cherche à montrer, il ne faut utiliser que des dates de naissances réelles.

J'ai ainsi demandé à des instituteurs en stage (d'astronomie) à l'EN de m'aider, en me communiquant des dates de naissances de leurs élèves, de membres de leur famille ou d'amis. Quelques stages suffisent.

Je dois préciser que je n'ai pas utilisé les dates de naissance de membres de ma famille, afin de ne pas influencer sur les résultats.

Comment obtenir l'âge de la Lune à un instant donné? L'instant de naissance d'un enfant n'étant généralement pas connu en dehors de sa famille, j'ai alors convenu avec moi-même que cet instant serait 12 heures, au milieu du jour (bien que la plupart des accouchements aient lieu entre 0h et 6h, mais là, la Lune n'a sans doute pas d'influence... Quoi que!)

Ayant donc à ma disposition 1450 dates réparties entre 1904 et 1982, j'ai étudié les durées des lunaisons sur cette même période: elles varient entre 29,27 jours et 29,83 jours, soit une moyenne de 29,55 jours, valeur proche de la moyenne réelle 29,5306 jours. On peut ainsi considérer que la lunaison a une durée pratiquement constante. La Lune a l'âge 0 au moment de la Nouvelle-Lune (NL), l'âge 14,8 jours à la Pleine-Lune (PL) et 29,53 jours à la NL suivante.

Deux méthodes simples permettent de déterminer cet âge pour un jour donné:

a) Chercher dans un calendrier la date de la NL précédente. Par différence, on a l'âge de la Lune. Mais ceci suppose que la Lune a un mouvement uniforme autour de la Terre, ce qui est loin d'être le cas. Cependant, avec l'approximation sur l'instant de naissance, les âges peuvent être exprimés en nombres entiers et cette méthode convient alors.

b) Une autre méthode, plus rigoureuse quant au mouvement réel de la Lune, nécessite un ordinateur: on calcule, pour une date donnée, l'élongation (E) de la Lune, c'est à dire l'angle Soleil-Terre-Lune qui varie de  $0^\circ$  (NL) à  $360^\circ$  (NL) en passant par  $90^\circ$  lors du Premier Quartier (PQ),  $180^\circ$  (PL) et  $270^\circ$  (DQ). On se ramène à une durée par une règle de trois:  $\text{âge} = E \times 29,53 / 360$  où E est en degrés et l'âge en jours. Ici encore, on arrondit à l'entier le plus proche. Cette méthode a l'avantage de normaliser la durée des lunaisons à 29,53 jours.

Les deux méthodes donnent des résultats identiques si on se contente de nombres entiers. On trouvera des algorithmes de calculs sur la Lune dans:

- *Astronomie pratique et informatique* de Christian Dumoulin (Masson)
- *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs* de Jean Mâeus (SAF)

La précision sur l'âge de la Lune à un instant donné est de quelques minutes seulement, ce qui est très largement suffisant ici.

Il reste à faire un examen statistique des résultats.

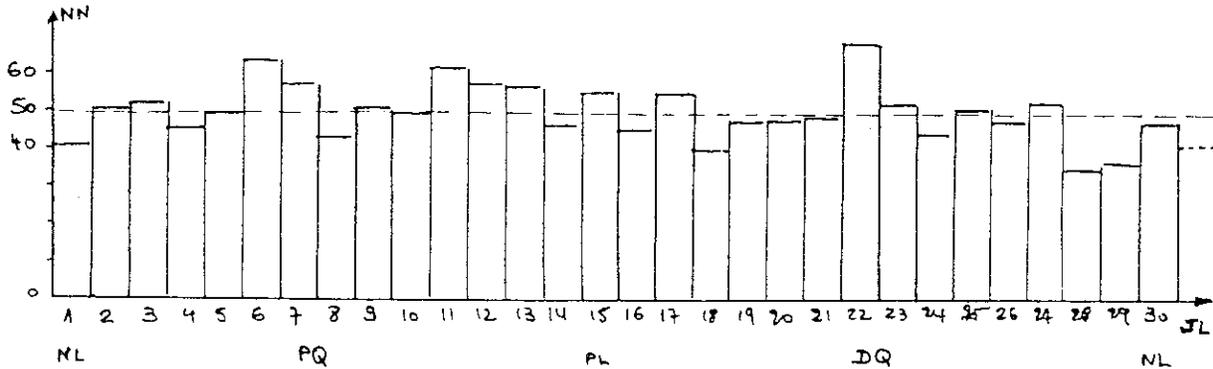
Les calculs utilisent ici la méthode de l'élongation. Le *jour de lunaison* (JL) est tel que l'âge de la Lune  $y$  est compris entre JL-1 et JL. Ce nombre JL varie donc de 1 à 30 (revoir les problèmes de piquets et d'intervalles).

Le tableau ci-après donne, pour les 1450 dates étudiées, la répartition du nombre de naissances (NN) ayant eut lieu un jour de lunaison JL donné.

JL (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NN	40	50	51	45	49	63	57	42	50	49	61	57	56	46	53
JL (j)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NN	44	53	39	47	47	48	68	51	43	50	47	51	33	35	25

Le jour JL=30 ne dure en fait que 0,53 j. Afin de tenir une comptabilité sur 30 jours entiers, la valeur de NN(30) est amenée à 47 par le rapport  $25/0,53$ . Le nombre total de dates est alors augmenté et vaut maintenant 1472.

Une traduction graphique de ces résultats ne montre pas de "pic" notable tout au long de la lunaison. La répartition des points est quasi uniforme avec une moyenne de 49,1 et une dispersion voisine de  $\sqrt{49,1}$  (l'écart-type vaut 7,5).

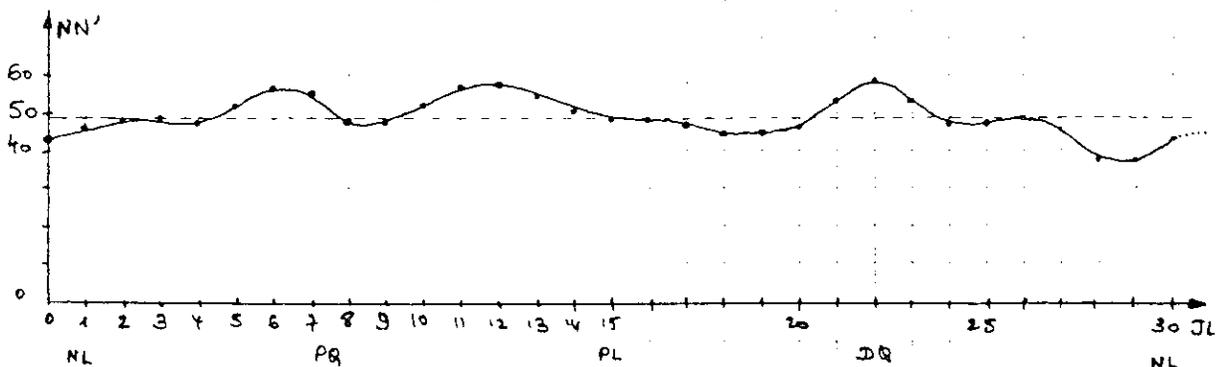


On peut "lisser" la courbe en répartissant les naissances des jours  $j-1$  et  $j+1$  pour moitié sur les naissances du jour  $j$ , ceci afin de ne minimiser l'effet de l'indétermination de l'heure de naissance prise à 12h par convention.

On calcule donc  $D = NN(j) + (NN(j-1) + NN(j+1)) / 2$  puis  $NN'(j) = D/2$  avec  $NN(0)=NN(30)$  et  $NN(31)=NN(1)$ .

JL (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
NN'	44	48	49	48	52	58	55	48	48	52	57	58	54	50	49
JL (j)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
NN'	49	47	45	45	47	53	59	53	47	48	49	46	38	38	42

Même dans ce cas, la courbe de répartition ne présente pas d'extrémum significatif, aux fluctuations de  $\sqrt{49,2}$  près (écart-type de 5,2). Et rien n'empêche de poursuivre le processus de lissage sur ces nouvelles valeurs...



Une étude sur le même sujet avait déjà été effectuée par C. Laviers, sage-femme à l'hôpital de Clamart, avec 1600 naissances de 1980 (étude publiée dans *Les Dossiers de l'Obstétrique*, No 89, octobre 82). Cependant, des erreurs (typographiques?) dans les tableaux de dates empêchent de vérifier la 8<sup>è</sup> conclusion de l'auteur: "Effectivement, les accouchements augmentent en période de pleine Lune, diminuent à la nouvelle Lune, et, jusqu'au mois de septembre, augmentent pendant la Lune décroissante".

Que conclure de tout cela? Simplement que, lorsqu'une femme va accoucher, il est bien plus sage de s'intéresser aux aspects médicaux ou pratiques de la naissance plutôt qu'à la Lune; le bébé aura tout le loisir de l'admirer plus tard... Mais alors, d'où vient cette "rumeur" concernant une augmentation des naissances au moment de la Pleine-Lune ou lors de la Lune décroissante? "N'importe quelle sage-femme vous le dira!" s'entend-on répéter.

Je propose une interprétation. Les accouchements ont lieu en général en "milieu" de nuit. Quand on conduit la (future) mère à la maternité, on sort dans le noir de la nuit ou du soir, et si la Lune est présente dans le ciel (PL ou DQ) à cet instant, on la remarque de façon toute naturelle, alors qu'on ne remarque rien lors du PQ ou de la NL et pour cause! On aurait ainsi tendance à rapprocher la présence de la Lune dans le ciel et la naissance quelques heures plus tard. De là à y voir une influence lunaire...?

Puisque la Lune n'influe pas sur la date de naissance, qu'en pense le Soleil? Cherchons donc s'il existe une corrélation entre les saisons et le nombre des naissances. Avec la même liste de 1450 dates de naissance, il est facile de faire compter l'ordinateur, en ne prenant que les dates anniversaires (DA), c'est à dire jour et mois. J'ai modifié très légèrement les dates des équinoxes et solstices de façon à avoir des durées pratiquement égales.

Voici la répartition des DA suivant ces quatre "saisons".

	printemps	été	automne	hiver
durée	91 j	92 j	91 j	91,25 j
DA	348	377	374	351

La valeur moyenne est 362,5 (=1450/4), et l'écart-type vaut 13,1. Ici encore, il n'est pas possible de mettre en évidence une influence de la position de la Terre sur son orbite. Tout au plus oserais-je dire que les naissances sont très légèrement plus nombreuses en été et automne qu'en hiver ou au printemps. Mais ne faut-il pas plutôt voir là une cause indirecte du Soleil, sur le climat, les vacances, ou la vie des futurs parents?...

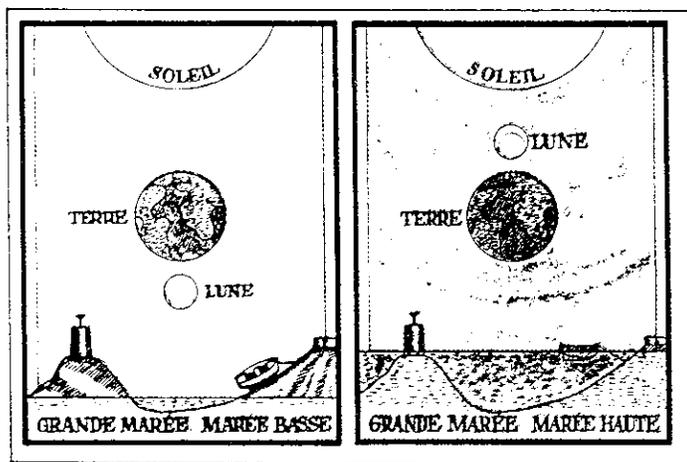
J'en ai quand même profité pour vérifier les résultats du problème classique des anniversaires: dans une population de N personnes, quelle est la probabilité pour qu'au moins deux d'entre elles fêtent leur anniversaire le même jour? Le calcul conduit à:  $Pr(23)=0,507$   $Pr(50)=0,970$  et  $Pr(N>365)=1$  autrement dit quand 23 personnes sont rassemblées, il y a une chance sur deux que 2 personnes soufflent ensemble les bougies, et c'est quasi certain dès que N atteint ou dépasse 50.

En prenant 23 dates au hasard parmi la liste des 1450, l'événement "deux anniversaires sont identiques" est bien réalisé 1 fois sur 2. Cependant, parmi les 366 dates anniversaires possibles, seules 15 ne sont pas fêtées. Cela provient uniquement du petit nombre de dates utilisées: 1450 est encore trop faible. J'avoue ne pas avoir été tenté d'en chercher dix fois plus...

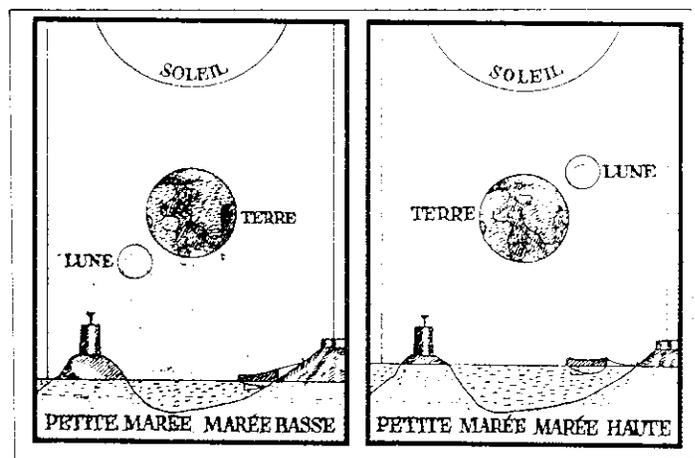
Je souhaite longue vie aux 90 bébés qui viennent d'arriver en France depuis une heure. Tiens, la Lune est pleine ce soir!

## QUAND NOUS JOUIONS A LA MARÉE...

Il n'est malheureusement pas rare de rencontrer, dans des livres ou des articles de la meilleure apparence, des explications erronées du phénomène des marées. Cependant, les deux dessins et les quelques lignes que je viens de trouver dans un séduisant ouvrage de vulgarisation sur la mer (fort estimable par ailleurs, notamment pour l'histoire des voyages et des découvertes maritimes) représentent un concentré d'inexactitudes que je n'aurais pas cru possible:



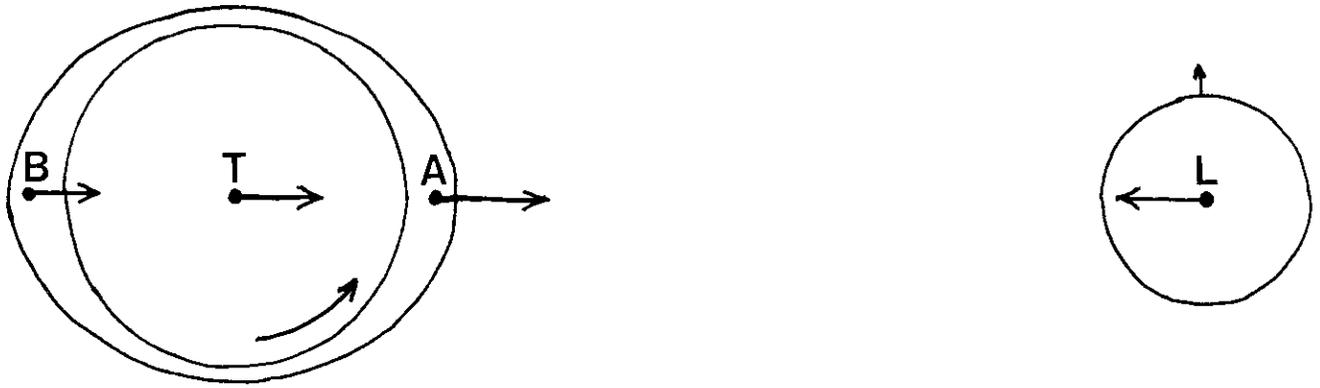
8 - Quand le soleil et la lune se trouvent du même côté de la terre, l'attraction est forte (le soleil et la lune s'ajoutent), la marée est forte : c'est la grande marée haute. Comme la lune tourne autour de la terre, six heures après elle est opposée au soleil, c'est la grande marée basse. Ce sont les marées de vives eaux.



9 - Quand le soleil et la lune forment un angle, l'addition est faible, lorsqu'ils sont du même côté de la terre, leur attraction est moins forte. C'est la petite marée haute. Quand le soleil et la lune forment un angle ouvert parce que la lune est de l'autre côté de la terre, il faut soustraire les attractions. C'est la petite marée basse. Ce sont les marées de mortes eaux.

Comment l'auteur de ce livre, présenté dans la préface comme étant "un scientifique exigeant", a-t-il pu écrire (ou laisser écrire..., car il faut compter avec la "négritude") une pareille interprétation ? Cet ouvrage étant distribué gratuitement et en nombre dans les écoles, il me semble qu'il faut saisir l'occasion de dénoncer ce genre de contre-pédagogie, d'autant qu'une explication élémentaire correcte des marées n'est ni plus compliquée, ni plus longue.

On remarque d'ailleurs que le rôle attractif de la lune et du Soleil est en général assez bien compris. Ce qui ne l'est pas, ce sont les *différences* d'attraction en divers lieux de notre planète.



Est-il si difficile de dire que la lune attire davantage un litre d'eau se trouvant en A, juste au-dessous d'elle, qu'un kilogramme de matière terrestre situé en T, vers le centre du globe ; et davantage ce dernier que le litre d'eau se trouvant en B, juste à l'opposé de la lune ? N'est-il pas alors évident qu'une double excroissance océanique va tendre à se former, à la fois vers la lune et dans le sens opposé ? A cause de la rotation de la Terre, il est clair que l'eau va culminer sur le rivage deux fois plus souvent que la lune ne culmine dans le ciel, c'est-à-dire toutes les 12h30m environ.

L'existence du Soleil provoque une seconde double excroissance, orientée vers lui et dans le sens opposé, et indépendante en principe de la première. Ces deux étirements vont s'ajouter quand lune, Terre et Soleil sont à peu près alignés, *quel que soit l'ordre* (nouvelle lune ou pleine lune), et l'on aura les marées de vive-eau. Les étirements se retranchent quand lune et Soleil font un angle droit ou presque (premier ou dernier quartier de lune), et ce seront les marées de morte-eau.

::

:: ::

Si l'on reste à ce niveau très simple, qui est celui du livre en question (en fait, celui de l'école élémentaire), il reste à dire, sans vérification possible, que l'action de la lune est plus forte que celle du Soleil, et que l'amplitude de la marée varie entre la somme et la différence de celles que provoqueraient la lune ou le Soleil agissant isolément. Mais ces raisonnements peuvent devenir quantitatifs dès le niveau du collège. La proportionnalité de l'attraction aux masses et au carré de l'inverse de leur distance se comprend bien, avec ou sans l'aide

d'une pomme (qu'on pourrait d'ailleurs trouver dans la vieille chanson dont le titre s'inspire...), et l'on peut alors faire le calcul simple suivant :

La distance moyenne de la lune au centre de la Terre, avec pour unité le rayon terrestre (6 370 km), est 60,3 ; celle du Soleil est 23 500. La masse solaire vaut 27 millions de fois la masse lunaire, qu'on prend ici pour unité.

L'amplitude de la marée, c'est la différence entre le "soulèvement" de l'eau et celui de la Terre, vers la lune ou vers le Soleil. Ces soulèvements peuvent, en première approximation, être pris proportionnels aux forces d'attraction. Avec la lune seule (et une unité arbitraire d'amplitude) il faut s'attendre à une amplitude de

$$1/(60,3 - 1)^2 - 1/(60,3)^2 \quad \text{quand elle est au zénith,}$$

et de  $1/(60,3)^2 - 1/(60,3 + 1)^2$  quand elle est à l'opposé (au "nadir").

Comme ces deux quantités ne diffèrent que de 5 %, la marée est presque aussi forte du côté "anti-lunaire" que du côté lunaire.

Avec le Soleil, il faut remplacer dans ces calculs 60,3 par 23 500. Comme 1 est encore bien plus petit devant 23 500 que devant 60,3, la marée solaire et la marée "anti-solaire" seront égales, et le soulèvement de l'eau est le même à minuit qu'à midi. Mais on verra aussi que les différences d'attraction calculées ci-dessus pour la lune deviennent 60 millions de fois moins fortes à cause de l'éloignement du Soleil. Comme le gain en masse n'est que 27 millions, la marée solaire sera à peine la moitié de la marée lunaire. Comme  $2 + 1$  est le triple de  $2 - 1$ , on peut s'attendre (en un même lieu) à des marées de vive-eau environ 3 fois plus fortes que les marées de morte-eau, ce qui est en gros la réalité, aux équinoxes tout au moins, où la dissymétrie introduite par l'obliquité de l'axe terrestre ne complique pas trop les affaires. Car c'est une donnée qu'il a fallu négliger ici, ainsi que plusieurs autres très importantes, telles que les variations des distances des deux astres, les effets retardateurs de l'inertie de la masse aqueuse et des irrégularités des côtes, etc. Mais justement ! Plus un phénomène naturel est complexe, plus il importe d'en donner des schémas qui peuvent et doivent certes simplifier, mais non pas fourvoyer.

René Dumont

## LE CALENDRIER

### Aspects historiques et astronomiques

#### 1- Origine astronomique des unités de temps.

La nature offre à la vie terrestre des unités *fondamentales* pour mesurer l'écoulement du temps : le jour et l'année. Afin de compter les jours, on a introduit des unités intermédiaires, *conventionnelles* : le mois et la semaine.

- le *jour* résulte de la rotation de la Terre sur elle-même, devant le Soleil.
- l'*année* est due au mouvement de translation de la Terre autour du Soleil. Elle se manifeste par le retour périodique des *saisons*, ou de certaines étoiles brillantes dans le ciel. Il se produit environ 365 alternances clair/nuit par année. Ce nombre 365 était connu des Egyptiens 4000 ans avant notre ère.
- le *mois* vient du mouvement de translation de la Lune autour de la Terre (le retour périodique des *phases* lunaires). Il se produit en moyenne 29 à 30 alternances clair/nuit par lunaison.
- la *semaine*, pour compter facilement les jours, vient du nombre d'astres mobiles visibles à l'oeil nu : Lune, Mars, Mercure, Jupiter, Vénus, Saturne et le Soleil.
- l'*heure* est une subdivision de l'unité naturelle (le jour). On a convenu de diviser la durée de l'éclairement solaire en 12 parties égales, et de même pour la nuit. La durée de l'heure de nuit était donc généralement différente de la durée de l'heure de jour; mais cette durée variant dans l'année, ce n'était guère pratique! La *minute* et la *seconde* sont des subdivisions sexagésimales (60) successives de l'heure. Le choix des diviseurs 12 et 60 est conventionnel.

#### 2- Valeur des unités.

- l'unité naturelle est le jour : c'est la durée moyenne (sur une année) entre deux passages successifs du Soleil au méridien (ou entre deux levers ou deux couchers successifs du Soleil). Sa durée est fixée à 24 heures égales. Dans le langage courant, le mot jour désigne aussi la durée d'éclairement du Soleil, par opposition à la nuit.
- l'année "exacte" (ou année *tropique*) dure 365,24220 jours de 24 heures. Les difficultés du calendrier proviennent de ces décimales 0,24220...
- le mois lunaire dure 29,5306 jours. A cause des décimales encore, la date de la Nouvelle-Lune "recule" dans notre calendrier solaire. L'année comporte ainsi 12 lunaisons plus 10,875 jours : il ne peut donc pas y avoir de concordance entre les calendriers lunaires et solaires.
- la *seconde* est l'unité *légal*e de mesure du temps, définie à partir de l'atome de césium 133. On compte 86400 s par jour.

#### 3- Le calendrier julien.

Sous Jules César (en 46 avant notre ère), afin de mettre de l'ordre dans le calendrier lunaire romain primitif, l'astronome Sosigène proposa de se référer à un calendrier solaire :

- 1) l'année, partagée en 12 mois *inégaux*, dure en *moyenne* 365,25 jours.
- 2) pour établir un comptage en nombres entiers de jours (365), le 1/4 de jour restant est cumulé sur 4 ans. On ajoute un jour supplémentaire à l'année qui comporte alors 366 j. Ce jour doublera (c'est une convention) le 24<sup>e</sup> jour de février, qui était aussi le 6<sup>e</sup> jour avant les calendes de mars (le 1<sup>er</sup> mars) c'est à dire le début de l'année à cette époque. D'où le nom *bis sextus ante calendas martias* qui donnera notre terme *bissextile*.
- 3) l'année commence le 1<sup>er</sup> janvier, au lieu du 1<sup>er</sup> mars. On gardera cependant les noms de septembre, octobre, novembre et décembre, bien que ces mois ne soient plus les 7<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup>, 9<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> de l'année. (En France, l'année ne commencera le 1<sup>er</sup> janvier que sous Charles IX en 1567).

#### 4- Le calendrier grégorien.

L'écart entre l'année tropique (365,24220 j) et l'année julienne (365,25 j) est de 0,0078 j par an (11min 14s). L'écart cumulé en 400 ans est de 3,12 jours en trop. Or, en 325, le Concile de Nicée avait fixé la date de Pâques par une règle simple : *le dimanche qui suit la première Pleine-Lune du printemps.*

Avec une année trop "longue", cette fête se produisait de plus en plus tôt dans le calendrier julien : l'écart atteignait 10 jours à la fin du 16<sup>è</sup> siècle.

En 1582, l'astronome allemand Clavius proposa au pape Grégoire XIII :

- 1) enlever 10 jours à l'année 1582,
- 2) modifier la règle de Sosigène pour les années bissextiles afin d'oter 3 jours en 4 siècles (soit 0,0075 j/an).

Les conséquences de cette réforme grégorienne sont :

- le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 est le vendredi 15 octobre 1582,
- seront bissextiles les années dont le millésime est divisible par 4 (comme avec Sosigène) mais les années séculaires (divisibles par 100, et terminant les siècles) ne seront bissextiles que si elles sont divisibles par 400.

Ainsi 1600,2000,2400 ont bien 366j mais 1700,1800,1900, 2100,2200,2300 ne sont pas bissextiles et ont seulement 365j.

La réforme est appliquée aussitôt à Rome, mais seulement en décembre 1582 (on passe du 9 au 20) en France, en 1752 (2-14 septembre) en Angleterre, et en 1918 (1-14 février) en URSS.

Ce calendrier est aujourd'hui en vigueur dans tous les pays. Il subsiste un écart de 0,0003 j/an (26 s/an) en trop.

#### 5- Le début de notre ère.

En 532 (ap.JC), le moine Denys le Petit suppose que le Christ est né le 25 décembre de l'an 753 de Rome. Sous Charlemagne, on convient que le début de l'ère chrétienne est le samedi 1er janvier 1. On sait depuis que le Christ est né en réalité 7 ans plus tôt, donc en l'an -6.

L'instant 0 désigne un instant précis, celui de l'origine choisie pour la mesure du temps. Le numéro d'une année désigne une durée de un an plus ou moins éloignée de l'origine choisie. C'est un "problème de piquets et d'intervalles":

- l'année 1 débute le 1er janvier 1 à 0 h (c'est l'instant 0)
- le 1er siècle commence le 1- 1- 1 à 0 h (instant 0)
- le 1er -- finit le 31-12- 100 à 24 h
- le 2<sup>è</sup> -- commence le 1- 1- 101 à 0 h (au même instant)
- le 20<sup>è</sup> -- --- le 1- 1-1901 à 0 h
- le 20<sup>è</sup> -- finit le 31-12-2000 à 24 h
- le 21<sup>è</sup> -- commence le 1- 1-2001 à 0 h (au même instant)

de même le jour de son 10<sup>è</sup> anniversaire, un enfant "quitte" sa 10<sup>è</sup> année pour "entrer dans" sa 11<sup>è</sup>. L'an 2000 est donc la dernière année du 20<sup>è</sup> siècle.

L'année 0 n'a jamais "existé", au contraire de l'instant 0. Cependant, elle est utile pour mesurer des durées s'étendant de part et d'autre de l'instant 0 origine :

5 ans	4 ans	3 ans	2 ans	1 an	1 an	2 ans
avant	avant	avant	avant	avant	après	après
-5	-4	-3	-2	-1	0	1
an-4	an-3	an-2	an-1	an 0	an 1	an 2

Par exemple, quel est l'âge, au 1er janvier de l'année "2 après", d'un enfant né le 1er janvier de l'année "4 avant" ? L'an "4 av." est l'an -3, l'an "2 ap." est l'an 2 : l'écart est 2-(-3) soit 5 ans (et non 6 comme 2-(-4)).

Vercingétorix se rendit à Cesar à Alésia en l'an 52 avant notre ère, donc durant l'année -51.

## LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

---

### La Nature sans foi ni loi

Les grands thèmes de la physique du XXème siècle, par Christian Magnan. Collection Belfond/Sciences ; 224 pages ; 120 F (niveau II)

La collection Belfond/Sciences, que dirigent Jean Audouze et Isabelle Naddeo-Souriau, nous avait déjà donné à lire d'excellents ouvrages, "Le message du photon voyageur" de Schatzman, "les trous noirs" de Luminet, pour ne citer que les meilleurs. Or voici qu'elle nous présente un morceau de choix avec cette réflexion à la fois panoramique et approfondie sur les grands thèmes actuels de la physique. Un seul problème pour moi : savoir dire tous les mérites de ce livre de façon assez convaincante pour que vous vous précipitiez tous, amis des Cahiers Clairaut, sur cette lecture particulièrement enrichissante.

Je ne connais pas personnellement Christian Magnan, ceci dit pour ne pas laisser soupçonner la moindre complaisance dans mon appréciation. Le livre nous apprend qu'il a été l'élève d'Evry Schatzman et qu'il travaille au laboratoire d'astrophysique théorique de Jean-Claude Pecker. Un auteur qualifié, par conséquent, pour nous parler de la physique contemporaine. A la lecture, nous découvrons un physicien critique, un théoricien qui nous invite à ne pas confondre un modèle théorique et la réalité, un savant qui a confiance en la puissance de la science mais qui nous demande de nous méfier de ses excès de pouvoir. Bref, je le répète, une réflexion approfondie.

Un mot sur la forme. Le style est simple et clair. Le souci de rigueur interdit à notre auteur les mots qui font images, brillantes à la lecture rapide, trompeuses à la réflexion. Lecture aisée pourtant car les exemples demandant un certain recours à un appareil mathématique sont développés dans des "encadrés" que certains lecteurs pressés sauteront (je le regretterai pour eux, celui sur "le prétendu paradoxe d'Olbers" m'a spécialement enchanté).

Surtout, je sais que je réserverai à ce livre une place d'honneur dans ma bibliothèque parce que j'y ai trouvé, sous la plume d'un physicien, de quoi enchanter le vieux prof de math que je suis : "Nous ne connaissons pas d'autre voie pour accéder au réel que celle de l'abstraction"(p.156). Propos parfaitement illustré par la distinction, sur laquelle Magnan revient dans chaque chapitre, entre la réalité et les modèles abstraits qui sont construits pour décrire et si possible prévoir des phénomènes. Cette phrase sur l'abstraction me rappelle le mot d'un ministre de l'Education Nationale, ignorant mais riche en bonnes intentions, qui nous demandait "d'enseigner des mathématiques concrètes" et je n'avais trouvé à lui répondre que le banal "à l'impossible nul n'est tenu". A l'époque, je n'avais pas lu Magnan qui m'éclaire du même coup sur mes propres difficultés à pénétrer dans la physique quantique. Alors, dit-il, que la physique classique et son prolongement la Relativité générale sont construites par abstractions successives à partir des observations, ce n'est pas à partir de la physique classique qu'il faut entrer dans la quantique. Mais au contraire, partir du quantique pour retrouver tout le classique.

D'ailleurs, lisez plutôt ce passage que je veux encadrer :

"Ainsi se méfiera-t-on des raisonnements élémentaires faisant appel au sens commun et risquant de donner l'illusion qu'il est possible d'expliquer les choses de façon concrète. Il faut nous résigner : les tentatives d'appréhension profonde du réel à partir des concepts classiques et directement perceptibles à l'homme, sans l'apport extérieur d'une théorie mathématique puissante et "imaginaire", ont toutes avorté, de sorte que l'économie de la conceptualisation, même si celle-ci désoriente d'abord, est maintenant réputée impossible."

Je viens d'insister sur la réflexion approfondie, passons au panorama en parcourant le sommaire.

Au départ de toute physique, la mesure. On utilise les nombres, en particulier avec cette merveilleuse écriture en virgule flottante ( $2,997\ 924\ 58 \cdot 10^8\ \text{ms}^{-1}$  pour  $299\ 792,458\ \text{km/s}$ ) - une écriture qui manquait cruellement au pauvre Archimède dans son célèbre calcul de l'Arénaire. L'échelle des mesures en physique est limitée, du très petit au très grand, on n'utilise que des puissances de 10 à deux chiffres. En passant, cela permet à Magnan une jolie démonstration de l'impossibilité physique du succès pour le singe dactylographe qui entreprend de reconstituer toute l'oeuvre de Victor Hugo en tapant au hasard sur le clavier de sa machine ; bravo, un bon exemple du danger de transposer dans le monde physique ce que le mathématicien dit sur l'infini...

Chapitre 2, la Relativité et par conséquent l'Univers en expansion. J'ai déjà signalé l'intérêt des encadrés ; celui sur l'effet Doppler-Fizeau vaut celui sur le paradoxe d'Olbers. La distinction entre décalage spectral cosmologique et effet Doppler est remarquablement expliquée.

Chapitre 3, l'Univers et ses modèles. Magnan distingue l'Univers et les univers, c'est à dire les divers modèles inventés par les astrophysiciens pour tenter d'appréhender l'Univers à majuscule. "Il faut se contenter momentanément d'une théorie en acceptant ses imperfections et ses insuffisances". Magnan nous invite à la méfiance vis à vis des théories sur "la venue du monde à l'existence" qui recourent au "principe anthropique, il le trouve malsain.

Chapitre 4, la physique quantique dont j'ai déjà dit de quelle façon originale et profonde Magnan nous demande de l'aborder. L'encadré sur les fonctions d'onde fait toucher du doigt les difficultés de la théorie.

Chapitre 5 sur le rôle du hasard. Comprendre la nouveauté qu'apportent les relations d'incertitude ; la limitation qu'elles imposent ne tient pas à des raisons pratiques ou instrumentales mais à des raisons de principe, nouveauté essentielle.

Chapitre 6, les trous noirs, retour à l'astrophysique proprement dite avec le problème de l'évolution des étoiles. Magnan nous propose, dans un encadré savoureux, de calculer les dimensions d'une naine blanche. Cas des étoiles à neutrons et enfin grand anéantissement du trou noir, l'espace temps et la physique n'ont plus de sens. S'agit-il de "rien"? Etonnement de retrouver ici ce mot dont Kepler s'était amusé dans la dédicace de son ouvrage "L'Étrenne ou la neige sexangulaire", sans doute une des premières approches de la structure atomique de la matière.

En conclusion du livre, un chapitre 7, "Vraie puissance et faux pouvoirs de la science", à lire, relire et savourer. Ecoutez plutôt : "Je défends quant à moi cette thèse que le réel est de nature radicalement différente du modèle et que la science doit donc se défaire de sa prétention à vouloir réduire complètement et définitivement ce réel à la description qu'elle en donne. Cette description n'est qu'une interprétation, une traduction. Elle n'est en aucun cas une application biunivoque, c'est à dire une opération que l'on pourrait ramener à une identification."

Magnan critique en passant deux mythes qui ont fasciné les scientifiques à travers les âges. En premier, l'harmonie, celle des nombres chez les Pythagoriciens, celle du cercle et du mouvement uniforme chez Ptolémée comme chez Copernic. Chaque fois, la grande découverte a consisté à rompre l'harmonie, les nombres irrationnels, les orbites elliptiques, ... De même la Relativité est venue rompre l'harmonie de la mécanique newtonienne. Le comble serait aujourd'hui de vouer à la théorie de la Relativité générale un caractère absolu !

Autre mythe, et celui-ci impérialiste, celui de la loi physique. Entendons le bien, dans le cadre d'une théorie, ses lois sont ses moyens de fonctionnement mais ne pas croire ni laisser croire que les lois de telle théorie seraient les lois de la nature. Là encore, ne pas confondre la théorie imaginée avec le réel qui ne peut coïncider complètement avec elle.

Analyses qui commencent par nous surprendre et qui pourraient faire ranger un peu vite leur auteur parmi les détracteurs de la science. Ce serait la pire erreur, un absurde contre sens. Christian Magnan est un scientifique confiant en la puissance de la science qui refuse toute religion de la science. Oui, la science est notre seul et unique moyen de comprendre le monde dans sa réalité. Alors ne lui faisons pas dire ce qui n'est pas dans sa vocation.

Je relirai ce beau livre qui témoigne d'un amour profond de la science, je ne le ferme pas avec regret car j'y reviendrai souvent.

G.W.

JARDINEZ AVEC LA LUNE 1986-1988 par Céleste. "La vie en vert-Rustica", 80 pages; éd Dargaud (29 F).

N'ayant jamais eu la main verte, j'ai acheté ce livre en espérant que la Lune favoriserait mon retour à la terre, que le ciel me réconcilierait avec le règne végétal.

Il faut le dire : c'est un échec. Pour moi et pour les plantes. J'ai vite senti que je ne saurais pas les rendre "parfaitement sensibles et réceptives aux influences de la voûte céleste".

C'est pourtant simple : il s'agit de permettre aux forces du cosmos de pénétrer dans le sol, avant d'être pompées par la racine. Aurais-je, par trop de zèle engraisseur, rendu le sol "impermeable aux rayons cosmiques" ? Si j'ai rendu la terre "parfaitement opaque, réfractaire, les rayons les plus importants, ceux provenant par exemple des étoiles fixes, ne peuvent plus la pénétrer". Vous seriez-vous douté de cela ?

Aurais-je par malheur fait les semis quand la Lune envoyait des influences inhabituelles (apogée ou périgée) ? Ai-je assez profité du passage de la Lune devant les constellations "en affinité avec l'élément Terre" pour faire tous les travaux se rapportant aux légumes-racines ? N'ai-je pas mélangé quelque peu les quatre éléments fondamentaux ? La carotte symbolise bien les constellations de terre, la tulipe les constellations d'air ? J'ai fait un bouquet de carottes et mangé les tulipes râpées...

Pourtant, c'est bien expliqué : certaines constellations se chevauchent presque ; "il est bon de n'apporter aucune précipitation à changer d'occupation quand la Lune change de constellation" ! Relaxation, vous dit-on, mais "le 26, aucun travaux (sic) après 15h45". Alsaciens ou Bretons : stop ou vos résédas seront rabougris, vos épinards étiolés.

Aujourd'hui, le 3, j'ai lu : "aucun travaux entre 7 h et 17 h." Comme les forces cosmiques sont déchaînées, l'élément eau ascendant sur la pelouse, je suis retourné douillettement près de l'élément feu. J'écris un livre ; il s'intitulera "Maigrir en mangeant de la choucroute et du cassoulet".

Anne-Marie Louis

HENRI CHRETIEN - DES ETOILES AU CINEMASCOPE

par Françoise Le Guet Tally ; préface de J.-C. Pecker. 48 pages ; une édition du cercle scientifique et technique Henri Chrétien, 22 avenue Germaine, 06300 NICE.

Henri Chrétien, cet innovateur dans la tradition comme l'écrivit Pecker, eut la chance, à quinze ans, de rencontrer Camille Flammarion. Très vite, il se passionne pour les problèmes d'optique, en particulier dans le laboratoire de Deslandres à Meudon. En 1905, Bischoffsheim, le mécène fondateur de l'Observatoire de Nice, lui confie le service d'optique. Puis il se verra confier des missions à Cambridge, à Pulkovo, au Mont Wilson. Il travaille avec Ritchey au télescope de 1,50 m avec lequel il photographie la comète de Halley en 1910. C'est encore avec Ritchey qu'il met au point un nouveau télescope à deux miroirs courbes dépourvu d'aberration sphérique et d'aigrette.

Pendant la première guerre mondiale, il réalise des instruments pour l'aviation, en particulier il met au point la photographie aérienne. Après la guerre, il reprend à Paris sa fructueuse collaboration avec Ritchey (télescope aplanétique, 1927).

Les inventions de Chrétien touchent bien d'autres domaines le catapote, l'objectif photographique hypergonar, études sur l'anamorphose, le celophare. Enfin il connaît le succès avec le cinémascope qui utilise l'hypergonar.

La brochure qui contient toutes ces informations a été réalisée avec grand soin. Elle est illustrée de nombreuses photos, par exemple celle de la fabrication du miroir primaire du télescope Ritchey-Chrétien qui fut installé à l'ESO en 1969.

#### A travers les revues

J'essaie de signaler les articles qui peuvent servir à la documentation de nos amis ; je ne peux être assuré d'avoir tout cité, que les lecteurs réparent mes oublis.

La Vie des Sciences, tome 4, n°4, juillet-août 1987. La savante revue de l'Académie des Sciences nous propose en particulier :

- "Le calendrier Gaulois" par Paul-Marie Duval ; un sujet dont nous avons déjà entretenu Parisot.

- "L'atomisme, face cachée de la condamnation de Galilée ?" par Pierre Costabel. En commentaire du livre de Pietro Redondi, "Galilée hérétique", présentation des documents essentiels, la condamnation de 1616, les attendus de la sentence finale, le texte de l'abjuration.

- Espace Information n°38 février 1988. Le Bulletin périodique du CNES nous présente un dossier fort instructif sur "la vie quotidienne en impesanteur. En affichette, la capture du satellite Westar 6 par l'orbiteur Discovery

L'astronomie, mars 1988. La revue mensuelle de la SAF qui a changé son format et amélioré sa présentation donne ici un riche numéro spécial sur Mars.

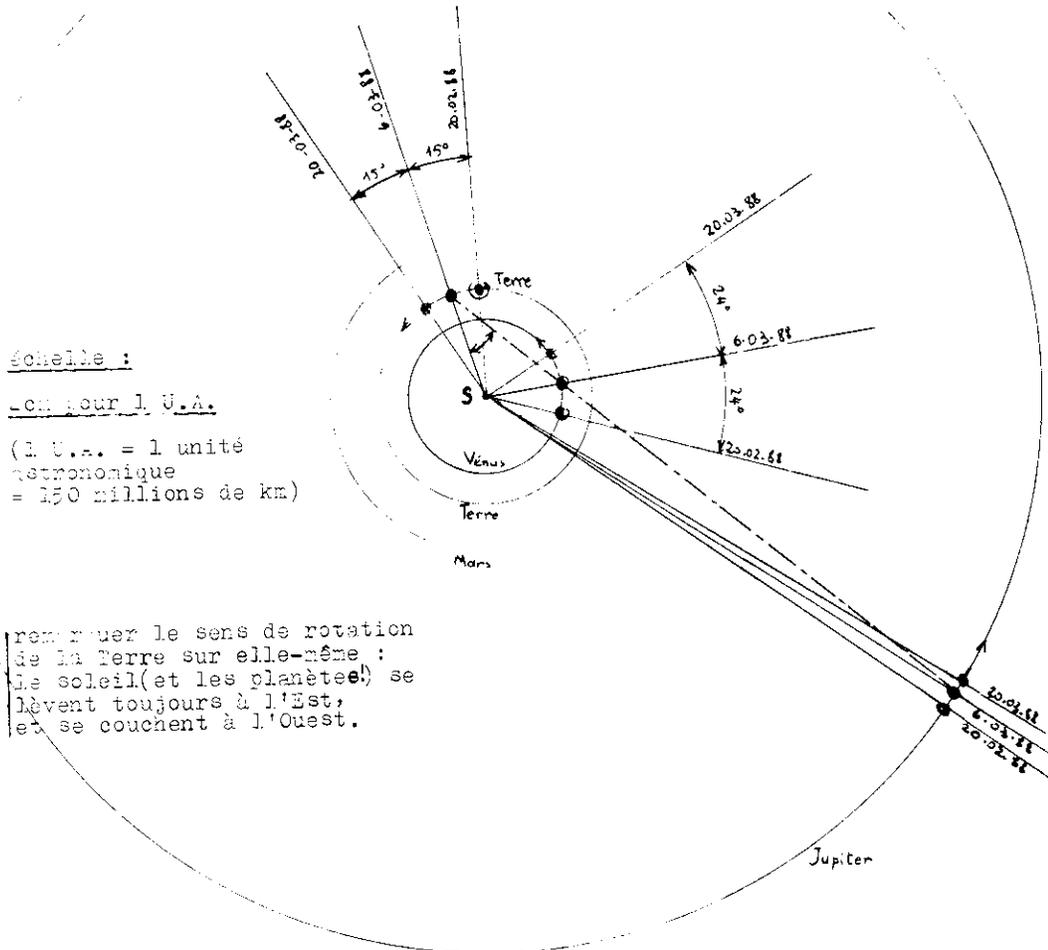
- La Recherche, n°197, mars 1988 : "Les naines brunes" par Roger J Tayler. A signaler aussi un excellent portrait de notre président d'honneur Jean-Claude Pecker, un champion de la culture scientifique par Jean-Maurice de Montrémy - n°198 avril 88, "Les jets de galaxies" par Hélène Sol.

- Pour la Science n°126, avril 1988 - Un article de Christian Houzel sur la Cité des Sciences et des Techniques de la Villette? "Plus un musée du design qu'un musée de la science". Il faudra bien se décider à éviter le naufrage de la Villette.

## LE COURRIER DES LECTEURS

### LA CONJONCTION DE VENUS ET DE JUPITER

Elle a été étudiée par notre Collègue Charles-Henri Vigouroux et ses élèves du lycée de Roanne. Il a édité à cette occasion une excellente notice : en première page, le paysage vers l'Ouest pour l'observation à partir de Roanne, en page 2, un rappel sur le système solaire et la page 3 dont nous reproduisons l'essentiel :



Repasser en bleu les positions au 20 février 88  
 .. en rouge .. au 6 mars 88  
 .. en vert .. au 20 mars 88

Le 6 mars 88, Vénus et Jupiter seront en conjonction, c'est-à-dire que nous les verrons presque confondues, depuis la Terre : ligne en pointillés, sur la figure.

### DE JACQUES VIALLE à K.MIZAR

"Je suis en train de lire les Actes du Colloque Jean Picard (enfin parus!) et j'ai eu la curiosité de relire ce que tu écrivais, K.Mizar, dans le CC 17 sur cet astronome : "On sait peu de choses sur sa jeunesse, sinon qu'entré au service d'un duc de Créqui, un astronome, Jacques de Valois, le conduisit à faire des observations et à compléter sa formation scientifique."

Picolet dans sa biographie de Jean Picard avant 1666, in Actes du Colloque Jean Picard p.23, écarte résolument cette affirmation sans toutefois donner de preuve formelle. "... si le fond de l'histoire est authentique, celle-ci doit selon toute apparence être rapportée non à Jean Picard, mais à un certain Ozias (ou Auzias, ou encore Eléazar) Féronce, né en Picardie qui fut effectivement jardinier au château de Vizille près de Grenoble.

Or, en cherchant tout autre chose, je suis tombé sur une lettre adressée à Jean-Baptiste Morin par Jacques de Valois et qui pourrait constituer une preuve formelle tout au moins de l'existence réelle d'Ozias Féronce né Picard de nation. Cette lettre écrite en 1634 OCT 25 traite du problème des longitudes et comme elle défend plus ou moins Morin, à l'époque empêtré dans une cacale dirigée contre lui, elle a probablement été relativement

largement diffusée. Voici les termes utilisés par le Trésorier Général de France en Dauphiné, autrement dit, Jacques de Valois :

"Je vous ai parlé ci-dessus d'un excellent observateur que M.Gassend a voulu avoir chez lui. C'est un jardinier de Monseigneur le Duc de Créquy demeurant à Vizille à deux lieues de Grenoble, auquel après avoir reconnu son inclination aux Mathématiques, et particulièrement à l'Astronomie, j'enseignai quelques principes, et lui donnai des livres en Français sur cette matière. Il prit plaisir de les lire et entendre jusques à tel point que de soi-même, il apprend toute la doctrine des triangles... il se nomme Ozias Feroncé, picard de nation..." (Jacques de Valois, Lettre écrite au Sieur Morin par les plus célèbres astronomes de France ; approuvant son invention des Longitudes, Paris 1635, pp9-10).

Il s'ensuit qu'il faut rendre à Féronce ce qui a été attribué à tort à Picard. Tu sembles, K.Mizar, avoir repris une erreur qui remonte à très loin. Le jardinier du duc de Créquy n'était pas Jean Picard mais simplement un picard de Picardie !"

Merci, cher Jacques Vialle de ces précisions ainsi que des bonnes nouvelles que tu ajoutes sur le stage de Parthenay organisé par l'équipe de La Rochelle-Rochefort. Et le 27 avril, nouvelle demi-journée pour les instituteurs de La Rochelle. De plus le CDDP a offert au CLEA une page sur son serveur télématique.

#### LE PRINTEMPS 1988

Un journaliste de la télévision a été fort surpris que l'équinoxe de printemps tombe cette année le 20 mars. Ou plutôt, il a pensé expliquer ce phénomène étrange (?) en invoquant le fait que 1988 est une année bissextile.

Consultez les Ephémérides. L'équinoxe du 20 mars 1988 avait lieu à 9h 39 min UT. Un simple calcul que chacun effectuera montre que l'équinoxe 1989 aura encore lieu le 20 mars. Et pourtant 1989 ne sera pas bissextile.

#### UN BON MOT

En annonçant la mort de Pierre Desproges, le 18 avril 1988, Le Monde a reproduit certains aphorismes du regretté humoriste dont celui-ci, visiblement destiné aux lecteurs des Cahiers Clairaut :

"Tout homme plongé dans la science subit une poussée de bas en haut susceptible de lui remonter le moral."

#### UN STAGE D'INITIATION

L'Association Astronomique d'Anjou et le club "Le Télescope" du Val de Marne organisent du 10 au 17 juillet 1988 en Haut Queyras (Hautes Alpes) un stage d'initiation à l'astronomie pratique (observations, photos, exposés). Prix 1500 F tout compris. Ouvert à tous sans connaissances préalables. Renseignements : ASTRO QUEYRAS, appt 24-31, 75 rue du Javelot, 75013 PARIS (tél 45 85 60 52).

#### ORLEANS

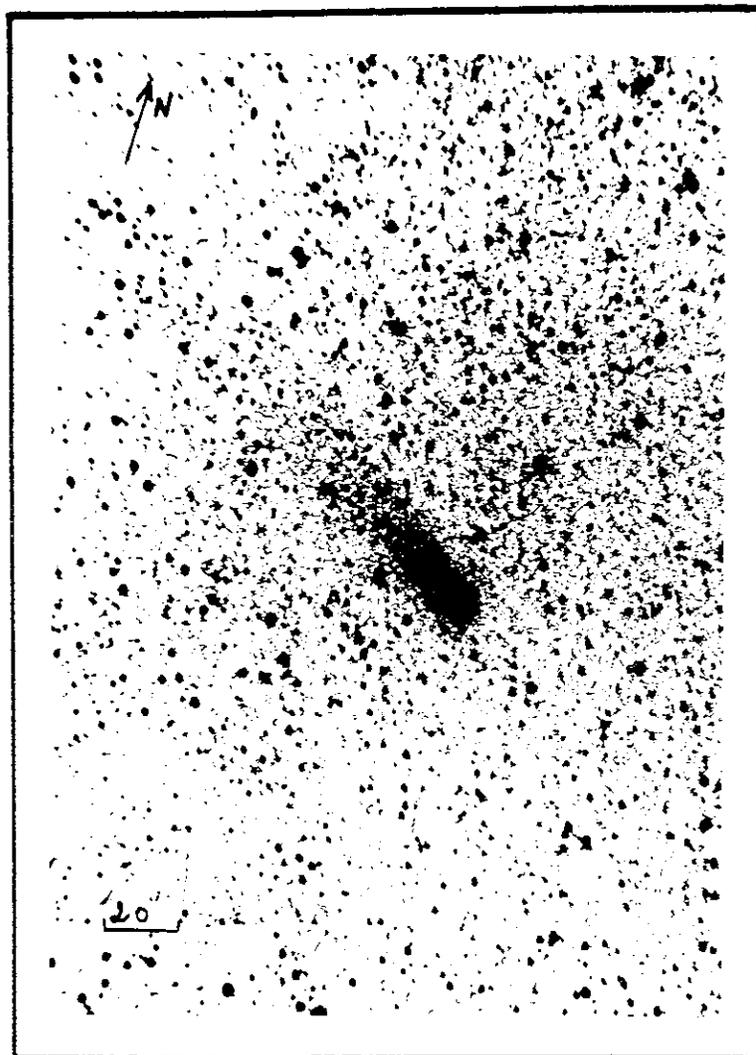
Eric Varanne fait un bilan des activités en 87-88 par CRDP et IREM qui ont touché respectivement 11 et 14 personnes. Avec le concours des animateurs de l'AEAAC qui par ailleurs organise des réunions pour adultes et deux week-end pour les jeunes. Un stage de perfectionnement est prévu du 16 au 23 juillet 1988. Renseignements : Jean Bertrand, AEAAC, 42 rue Malvoisine, 45800 ST JEAN DE BRAYE.

#### NOTE DU SECRETARIAT DU CLEA

Le bon accueil réservé par les lecteurs à la nouvelle présentation des Cahiers Clairaut a eu pour conséquence un certain afflux de commandes pour les publications annoncées en page 3 de la couverture. Le secrétariat en est fort heureux mais il a été un peu bousculé dans ses habitudes d'où un certain retard dans l'expédition des paquets. Que les Collègues ne s'impatientent pas trop et excusent le secrétaire, la situation devrait être redevenue normale dans le courant de mai.

#### OCTOBRE A MULHOUSE

Le club astronomique du Collège de Wittelsheim organise du 4 au 29 octobre 1988 à la bibliothèque municipale de Mulhouse une série de manifestations "ASTRONOMIE SUPER STAR" ; une exposition, des animations et quatre conférences dont celle de notre amie Agnès Acker sur la vie extra terrestre.



COMETE BRADFIELD 1987 s

(Mercredi 9 décembre 1987 - 18h 45 U.T.)

Coordonnées :

$\alpha = 20^{\text{h}} 51^{\text{m}} \pm 1^{\text{m}}$  ;  $\delta = 20^{\circ} 8' \pm 2'$  ;  $\text{Pa} = 52^{\circ} \pm 2^{\circ}$

Constellation : Petit Renard.

Téléobjectif de focale 200 mm à  $N = 3,3$

Suivi 9 min. sur film T max 400 Kodak (microphen 12 min.)

Contre type sur film trait Ilford. Grandissement = 8

Diamètre chevelure 10'

Longueur de la queue 2°

Cliché R. Marical - St Denis le Thiboult - 76 -

# INDEX THEMATIQUE

(Les nombres indiqués renvoient aux numéros 1 à 39/40 des Cahiers Clairaut)

## Enseignement et Astronomie

Statuts du CLEA	18,19
les 10 ans du CLEA, des CC	39
historique des écoles d'été	39
la connaissance astronomique	28,29
la recherche fondamentale	26
la culture et la science	39
l'astro. au Collège de France	39
l'astronomie aujourd'hui	39
astro en maternelle	36
--- au CP	12,13,25,26,27
--- au CE1	13,23
--- au CM	21,31,32
--- en 4 <sup>e</sup>	1,5,6,11,14,29
--- en 3 <sup>e</sup>	30
--- en collège, lycée	2,12,39
--- pour nos élèves	2,4,37à39
--- à l'Ecole Normale	13,23
les phases de la Lune	29,31,35
les éclipses	32
la comète	32,36
les constellations	38
la couleur des étoiles	19
classes vertes et astronomie	33,34
contes et légendes	28,36,38
questionnaire aux élèves	10
Commission inter-IREM	39
exposition d'astronomie	9,16
astro-métre	26
astro au Louvre	22
astro à La Villette	37
astronomie à Besançon	18
astronomie en Finlande	27,37

## Articles de fond et/ou d'actualité

arc-en-ciel	1,2,3,24,25
bleu du ciel	1,3,4,7,22
diffusion de la lumière	3,7
refraction atmosphérique	1,8,39
le rayon vert	8
les couchers de Soleil	39
aurore polaire	13
Actualités 87 du Syst. Solaire	36,39
la recherche spatiale	3

la planétologie	7,8,23
atmosphères planétaires	17
l'atmosphère de Vénus	6
rotation de Vénus	4
Mars	35,36
Jupiter et Voyager 1-2	7,8,36
Saturne et Voyager 1-2	11,36
Uranus et Voyager 2	32,33,36
Uranus et Neptune	10,13
les anneaux de Neptune	28,29
Pluton, Charon	5,36,39
la Comète de Halley	3,27,31à37
les comètes	26,32
l'effet de marée	31,39
les marées océaniques	25,26,27
le moment cinétique	39
origine du Système Solaire	15,16,17,39
la pression de radiation	32
le vent solaire	39
les neutrinos solaires	21,22
durée de vie du Soleil	10,28
la formation des étoiles	5,25,39
les éléments chimiques	24
les étoiles variables	15,29,39
les étoiles naines	26
le halo de la Voie Lactée	24
le ciel infrarouge	27,34,39
l'effet Doppler-Fizeau	5
la relation de Tully-Fischer	34
étoiles à neutrons, pulsars	25à28,36,39
les quasars	7,18,32,35,36
les novae	23
la supernova de 1987	37
bulles et filaments	35
un nuage intergalactique	36
arcs lumineux géants	38
mirages gravitationnels	18,30
un trou noir supermassif	39
l'Observatoire ESO au Chili	19,20
le Spectro au T60 du Pic	20,32,38
le planétarium de Strasbourg	16,26
l'Horloge astro. Strasbourg	38
le mètre	23,25,28
l'objet Univers	14,29
cosmologie et Einstein	23,24
--- et expansion	25
--- et philosophie	22,26,27,28
l'Homme dans l'Univers	30
l'astrologie	2,13,14,19,31

Observations et Mesures

distances (Grecs)	1
--- dans le ciel	2,6
distance d'un météore	17,19,22,24,29
--- Terre-Lune	20,37
--- Terre-Soleil	1
parallaxe du Soleil	14,15,16
rayon de la Terre	7,8,11,13
--- ---	15,19,21
masse de la Terre	6
--- de Jupiter	25
chute des corps	17
phases de la Lune	2,4,27,29,31
occultation d'étoiles	2
eclipse de Lune (1/3/80)	10
--- de Soleil (4/12/83)	24,25,26
arc-en-ciel	1,2,24,25
le bleu du ciel	1,22
rotation du Soleil	4,9
taches solaires	4,9
température du Soleil	6
--- (Paradis et Enfer)	1,2
le mouvement diurne	23,24
mouvements apparents	9,24,29,30
	36,38
mouvement de la Lune	27
magnitudes planétaires	5,28,32
éclat de Vénus	5,28
visibilité de Vénus	28,30,31,34
boucles de Vénus	36
Vénus et les Pléiades	31,32,35
passages de Vénus	15,39
orbite de Mars	5,30
observation de Mars	35
Mars et Jupiter en 80	9
Jupiter et ses satellites	24,25
la comète Iras-Araki-Alcock	22
la comète de Halley	29à33
aspect visuel des étoiles	1
représenter la sphère céleste	10
navigation aux étoiles	12
spectres stellaires	1
étoiles variables	15
magnitudes stellaires	21
repérage de l'Etoile Polaire	6,8,9,21
Mizar et Alcor	9,10,14
les saisons	3,17,24,26
calendrier et astronomie	23à27
heure d'été, heure d'hiver	20
Le Syst. solaire à l'échelle	6,25
évolution de l'Univers (1 an)	16

Instruments à construire

quadrant de Copernic	28
altimètre céleste	8
cadran solaire	11,17,19,23
--- ---	24,27,28
hélioscope, héliomètre	6,7
héliographe	20
toise à Soleil	7,21
lunophasse	26
cosmographe	31
sphère armillaire	30,38
héliolabe, astrolabe	18
planétaire	22,23
---- et ordinateur	24
Syst.Solaire à l'échelle	6,25
sphère céleste	36
boite à ciel	33
calendrier perpétuel	31
lunette astronomique	13,16,17
monture équatoriale	9,19,37
télescope 200 mm	4
photographie du ciel	19
spectroscope	1,19
concours de La Villette	14,17

Temps et Calendrier

le temps et la vie	30
temps moyen	2,8
--- sidéral	7,34
--- universel	1,7,8,38
Concours Général 87	38
la période julienne	3
calendrier grégorien	3,18,20,21
--- perpétuel	31
--- et astronomie	23à27
--- de l'Univers (1 an)	16
heure d'été, heure d'hiver	20
équinoxe et année tropique	25,26
équation du temps	2,17,27,31
Lune des moissons,	
des chasseurs	17,18
la Sainte Luce	16,17
l'horloge parlante	8,22

Histoire

mesure des distances (Grecs)	1
la précession des équinoxes	3,7
l'attraction universelle	19,20,21
les Principia de Newton	22,34à37
les comètes	27,29,30
Uranus et Neptune	10,27
-- et Hershell	13,25
l'éclipse de 1919	30
l'astronomie au	
Collège de France	39
la Grande Ourse	9,10,14,16
la parallaxe du Soleil	14,15,16,39
--- de 61 Cygni	27
la méridienne (Picard)	17
carte de France (Picard)	18
la canicule	22

Archimède	1
Argelander (Friedrich-W)	37
Aristarque	1,3
Bessel (Friedrich-W)	27
Biot (J-Baptiste)	38
Bouillaud (Ismaël)	19
Cassini	14
Clairaut (Alexis)	1,30
Copernic (Nicolas)	21,24,29,33
Couderc (Paul)	12
Dauvillier (Alexandre)	39
Delambre (J.Baptiste)	39
Delisle (Joseph)	39
Emilie (du Chatelet)	22
Encke (Johann)	16
Fabricius (David)	25
Fraunhoffer (Joseph)	37
Galilée	10,11,12...
Gassendi (Pierre)	39
Halley (Edmund)	15,30
Herschell (William)	10,13,25
Hévélius (Johannes)	35,37
Hipparque	3
Kepler (Johann)	4,9à12,23à25
Lalande (Joseph-J)	39
Lallemand (André)	39
Laplace (P.Simon de)	16
Le Gentil	15
Messier (Charles)	39
Newton (Isaac)	22,34à37
Peiresc (Nicolas)	11,12
Picard (Jean)	14,17,18
Richer (Jean)	14
Thales	1
Tycho Brahé	23,27
Vernier	15
Wendelin (Godefroy)	14

Citations

Alain	21,22
d'Alembert	28
Daudet (Alphonse)	16,28
Diderot (Denis)	33
Flammarion (Camille)	5,28
Flaubert (Gustave)	21
Hugo (Victor)	13,31
Lalande (Joseph J.)	26
Laplace (Pierre Simon)	26,37
Perrin (Jean)	39
Poincaré (Henri)	17,21

Calculs et Mécanique céleste

repères galiléens	14
la rotation de la Terre	14,17,20,25
le triangle sphérique	6,7
orbite de la Terre	1,13
--- de la Lune	20,25
--- de Mars	5
les phases de la Lune	2,39
les éclipses	3
lever-coucher de la Lune	35,39
-- --- du Soleil	9,23,39
durée du crépuscule	29,30
couchers de Vénus	34
mouvement apparent du Soleil	38
l'écliptique	13,38
saisons et équinoxes	1,3,9,17,24
--- ---	26,28
la précession des équinoxes	3,7
le perihélie de la Terre	13
parallaxe du Soleil	14,15,16
de Newton à Kepler	21,25
l'Equation de Kepler	26,27,28
l'Equation du temps	2,27,31
planétaire à construire	22,23
--- sur ordinateur	24
cycles planétaires	35
l'effet de marée	31
le moment cinétique	39
la comète de Halley	26,29,30,33
magnitudes planétaires	32
éclat de Mercure et Vénus	28,32
Jupiter et ses satellites	24,25
triangulation d'un météore	22
étoiles variables	29

## Index des Auteurs

ACKER	1, 2, 3, 6, 10	LANCIANO	33-34, 38
AGUERRE	18, 28	LECLERC	21, 24, 31, 32
ALLARD	23, 25, 31	LE FUR	24-25
ALLOIN	19-20	LE HIR	13
ANDRILLAT	21-30	LÉNA	5
AUZIAS	35	LEROY	4, 7
		LEVASSEUR-R	3, 6, 26, 33
BARDIN	9, 10, 19, 22, 32, 33, 38, 39	LOUIS	32, 34, 37
BERNARD	3		
BOISSE	35-36	MAGNIEN	26
BOTTINELLI	25, 26, 27, 30, 31, 32, 34 à 39	MARICAL	37
BOUQUET	1	MÉBUS	7
BRAHIC	7, 8, 11, 33, 36, 39	MOIGNER	26
BURILLON	34		
BUTY	20, 25	NEYRET	13
BYRD	8	OLLIER	17
CANARD	4, 16	PARAVY	31
CARMAGNOLE	20	PARISOT	11, 15-17, 19, 23-27, 31
CELNIKIER	2, 4	PATUREL	6, 11, 13, 34
CHAPPELET	2, 7, 35	PECKER	39
CHAUVILLE	2	PERBOST	35
CHEVALLIER	23	FIGUET	22-23
de CIRRUS	23	PINSON	12
CLAIRMIDI	26	PONCELET	38
CLUZEL	36	PORCEL	26
COLLIN-S.	7	PRESSET	6
CORBIER	28	PUEL	18, 23-27
COURTIER	1	PUJOL	31
DAVOUST	18	REYNAUD	4
DELAVERGNE	7, 27	RIPERT	9, 11-12, 20, 21, 24, 25, 29 30, 33, 36, 38
DOUAILLER	37-39	ROSENSTIEHL	21, 22, 23, 24, 28 31, 33, 34-36, 38, 39
DUMONT	29	ROUSSELOT	29
DUMOULIN	6, 39		
DUPONT	18	SANDRÉ	22, 29, 30
DUPOUEY	28-30	SARRAZIN	12, 21, 24, 31, 32
DUPRÉ	2, 13, 14, 27, 28, 33, 34	SCHATZMAN	21-22, 26, 39
DUVERNEUIL	23	SCHNEIDER	29
		SIMIAN	23
GÉRARD	32	SIMON	38
GERBALDI	3, 7, 8, 14, 17	SLAVSKY	10
GIÉ	2, 17, 31, 32, 39	SUAGHER	14, 21, 23-27
GINESTET	25		
GOUGUENHEIM	5, 24, 34, 39	TEERIKORPI	27
GRELLIER	9, 16	TOULMONDE	24, 26-28, 29-30, 32, 38, 39
GREZILLIER	23	TOUSSAINT	2, 5, 11, 12, 19, 27-28, 37, 39
		TRYOEN	2, 20, 25
HAKIM	25-28		
HEIDMANN	35	VALLARCHÉ	25
HOURQUIN	13	VANDERRIEST	18
IWANISZEWSKA	24, 35, 37	VENTURINI	23
		VERDENET	15
K. MIZAR	1, 2, 3, 4, 10-12, 13, 14-16 17-18, 19-21, 22, 23-25, 27 28, 29-30, 33, 34-37, 38	VIALLE	27, 30, 33-34, 37, 39
WALUSINSKI	1 à 39	VOYER	7

## Publications du CLEA

### LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE

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

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1. L'observation des astres et le repérage dans l'espace et le temps (20F)
2. Le mouvement des astres (25 F)
3. La lumière messagère des astres (25 F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (25 F)
5. Renseignements pratiques et bibliographie pour l'astronomie (25 F)
- 5 bis. Complément au fascicule 5 (25 F)
6. Univers extragalactique et cosmologie (30 F)
7. Une étape de la physique : la Relativité restreinte (45 F)

### LE TRANS-SOLUTE

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

### LES CAHIERS CLAIRAUT, bulletin trimestriel du CLEA

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

Cotisation simple au CLEA pour 1988 : 25 F

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

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

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

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

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

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

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

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim

Imprimerie HAUGUEL, 92240 Malakoff

Dépot légal : 1<sup>er</sup> trimestre 1979 ; numéro d'inscription à la CPPAP : 61660

