

# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 63 - AUTOMNE 1993

ISSN 0758-234 X

## LE C.L.E.A. - COMITE DE LIAISON ENSEIGNANTS ET ASTRONOMES

---

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

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

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

Aussi bien dans ses stages que dans ses diverses 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 et 4 de la couverture.

---

### Bureau du CLEA pour 1993

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Présidente : Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents : Agnès Acker

Marie-France Duval

Hubert Gié

Jean Ripert

Jacques Vialle

Catherine Vignon

Secrétaire-trésorier : Gilbert Walusinski

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

	page
Le CLEA et l'enseignement de l'astronomie .....	2
L'Antisoleil .....	6
Un jardin astronomique .....	11
Traitement d'images et enseignement de l'astronomie .....	16
A propos de la période julienne .....	23
Lectures pour la Marquise .....	27
Les Potins de la Voie lactée .....	35
Chronique du CLEA et courrier des lecteurs .....	36
Les enfants et l'astronomie .....	37
Astrologie et recrutement (suite) .....	38

### EDITORIAL

Gilbert Walusinski, qui, entre autres fonctions (et elles sont nombreuses !) au sein du CLEA, tient la rubrique de "la Marquise", nous dit sa satisfaction de recevoir un nombre croissant de contributions de lecteurs. On nous signale particulièrement l'ouvrage de Jacques Gapailard "Et pourtant elle tourne !" qui devrait intéresser tous nos lecteurs et plus particulièrement ceux qui ont à aborder dans leur enseignement le débat copernicien.

Nous sommes heureux de noter l'importance des contributions qui nous viennent d'astronomes de métier : nous publions dans ce numéro l'article de René Dumont (pourquoi l'avoir prénommé Michel dans l'éditorial du numéro 62 ? ) et Michel Rapaport sur l'Antisoleil.

Des collègues brésiliens nous ont transmis l'article intitulé "Jardin astronomique" - un cadran solaire défini par des fleurs de diverses saisons. Cet article relate une expérience menée au Brésil dans des écoles et qui a connu un certain succès local. L'un des auteurs est professeur de l'Université de Curitiba, actuellement en année sabbatique en France. François Barlier, qui nous a transmis l'article, souligne la similitude du souci de liaison entre les astronomes et les enseignants manifesté par G. Afonso, avec les objectifs du CLEA.

J. Vétois nous présente ensuite un logiciel de traitement d'images.

Merci aussi à Paul Perbost, pour son article sur la période julienne et à Pierre Lerich qui revient sur l'astrologie au "service" du recrutement.

L'année scolaire qui s'ouvre voit de nouveaux programmes se mettre en place. La présidente du CLEA fait le point sur l'espoir que l'esprit qui anime le CLEA transparaisse dans cet enseignement et l'aide que le CLEA peut vous apporter par les documents qu'il réalise.

Ecrivez-nous, envoyez-nous des articles : les Cahiers sont faits aussi par leurs lecteurs !

La Rédaction

## LE CLEA ET L'ENSEIGNEMENT DE L'ASTRONOMIE

L'astronomie est jusqu'ici très peu présente dans les programmes. Si l'on excepte les notions introduites au CM2 et la partie "optique" du programme de 4ème, on peut dire qu'elle fait essentiellement l'objet d'activités périscolaires, généralement au collège (clubs, PAE...), ou de discipline scientifique pour filières littéraires. Certains enseignants et/ou manuels de sciences physiques choisissent aussi d'illustrer des lois physiques du programme par des exemples astronomiques.

Le CLEA est né il y a une quinzaine d'années de la rencontre d'enseignants et d'astronomes de profession, à l'occasion de ce que l'on appelait alors "10% d'activités libres" ; invités par des enseignants à venir les aider à répondre à l'intérêt que leurs élèves manifestaient pour la science de l'Univers, ces astronomes ont pris conscience de la très forte motivation des élèves et de la non moins forte demande d'information et de formation manifestée par les enseignants. Convaincus de la richesse du champ que couvre l'astronomie, de sa pluridisciplinarité et du rôle moteur que peut jouer la motivation d'un élève pour l'amener à consentir l'effort que nécessite tout apprentissage, ils ont investi leur énergie pour créer les premières écoles d'été et stages académiques de formation (les MAFPEN n'existaient pas encore ; les Universités d'Eté non plus...), et divers documents pédagogiques dont les Cahiers Clairaut qui se veulent, nos lecteurs le savent, un lieu d'échange.

Notre objectif essentiel me semble être de développer chez les jeunes le goût et la pratique de la démarche scientifique et de la démarche expérimentale. S'opposant à la tendance actuelle de notre société, amplifiée par les medias, à procéder par affirmation, à l'utilisation généralisée qui est faite de l'argument d'autorité (les "savants" savent..., et sont d'autant plus savants que leur discours est plus hermétique...), l'enseignement général scientifique me paraît avoir pour objectif premier, avant de former les futurs spécialistes d'une discipline, ou même de susciter les nécessaires vocations scientifiques, d'apprendre à tous la démarche scientifique, dans ce qu'elle a à la fois d'imaginatif et de rationnel, son va-et-vient entre l'observation (ou l'expérience) et la théorisation, à apprécier le degré de certitude d'une connaissance, la nécessité d'utiliser un outil élaboré (qu'est le formalisme), sans pour autant que l'arbre-outil masque la forêt des phénomènes que l'on veut comprendre...

Enseignants et astronomes réunis dans les activités du CLEA, nous sommes enthousiastes. Nous avons, au long des années, imaginé, réalisé, adapté, modifié, transmis de nombreuses activités variées, dont les caractéristiques essentielles me semblent être de reposer sur la pratique, observation ou expérience, et de laisser le champ libre à l'imagination de chacun et à l'adaptation qu'il souhaite en faire ; nous avons toujours oeuvré dans un climat de liberté et de rencontre à la fois des disciplines et des ordres d'enseignement. Nous voudrions que passe dans la pratique enseignante ce même

climat d'enthousiasme, de liberté et de collaboration entre disciplines.

Abordons-nous aujourd'hui un tournant dangereux, avec l'introduction d'éléments d'astronomie dans les nouveaux programmes - essentiellement du lycée ? Certains le pensent et nous l'ont dit ou écrit : actuellement "cerise sur le gâteau" ou encore "espace de liberté", l'astronomie va-t-elle perdre son attrait en entrant dans le carcan des programmes qui tendent à tout codifier ? Quels types de contrôle va-t-on imaginer (reproduire de mémoire le diagramme HR des étoiles, ou décrire une observation "théorique" sans l'avoir jamais faite ?). Certains regrettent que l'astronomie n'ait pas été introduite en tant que telle, comme une nouvelle discipline à part entière. D'autres au contraire craignent qu'elle ne morde sur des programmes de physique déjà trop réduits, empêchant des apprentissages fondamentaux plus essentiels, qu'elle ne soit qu'un "gadget" un peu futile... Trop obnubilé par la présence effective d'éléments d'astronomie dans les programmes, le CLEA a-t-il accepté sans clairvoyance les éléments d'une réforme qui réduit la part de l'enseignement de la Physique ou celle des exigences de formalisme ? Parce que des éléments d'astronomie apparaissent dans les programmes des Sciences de la Terre, faut-il s'émouvoir que l'on cherche à faire enseigner "de la physique" aux naturalistes, dépossédant par là même les physiciens ?

S'il n'est pas possible de réconcilier tous ces points de vue, peut-être convient-il de recentrer nos réflexions et notre action sur nos objectifs fondamentaux, tels qu'ils sont formulés plus haut. Prenant acte de ce qui est proposé dans les programmes, tels qu'ils sont actuellement connus, comment les utiliser au mieux pour promouvoir la démarche scientifique et expérimentale, situer l'exigence au niveau de la compréhension des phénomènes et pas uniquement de leur transcription dans un langage mathématique, mais en conduisant cependant les élèves jusqu'au bout de la démarche d'abstraction ?

Plutôt qu'une discipline, l'astronomie est un champ, qui utilise les acquis d'autres sciences (physique, chimie, géologie, biologie...) et qui a sa propre problématique. Les programmes l'abordent, modestement, de façons diverses et complémentaires. Celui des Sciences de la Terre, essentiellement, situe la Terre dans son environnement et en la comparant aux autres planètes du Système Solaire : il traite du Soleil en tant que source d'énergie principale. Il donne au concept d'évolution une dimension différente de celle qu'en ont généralement les biologistes : l'évolution de la planète Terre entretient avec le monde du vivant des relations complexes, dont l'intérêt ne se limite pas à la compréhension de la vie en général et de celle de l'homme en particulier ; l'évolution se fait aussi indépendamment du monde du vivant.

Il me semble que la partie la plus originale des programmes de première en filière scientifique est l'introduction de l'option de "sciences expérimentales". Après bien des aléas, et en particulier la possibilité donnée un certain temps, et heureusement retirée, de reconstituer une filière d'excellence sélectionnée par les mathématiques, analogue à la filière C actuelle, grâce à l'introduction d'une option de mathématiques, elle paraît

pouvoir donner cet "espace de liberté", où l'enseignant peut choisir sa façon de traiter les thèmes et laisser les élèves définir le protocole expérimental ou travailler en petits groupes. Où le contrôle des acquis doit pouvoir se faire autrement que par la seule résolution d'un problème formel et l'application de "recettes". Parmi les thèmes de Physique, U1 : "Observateurs et mouvements" et U3 : "Rayonnement et couleur" peuvent aisément s'illustrer par de jolis problèmes astronomiques. Le Groupe Technique de Physique a suggéré des exemples et cité les documents du CLEA dans le Document d'Accompagnement qui circule actuellement dans une version provisoire. Le Groupe Technique STU a fait de même pour la partie "Sciences de la Terre".

Il nous appartient de valoriser au mieux les acquis du CLEA, d'une part en les diffusant sous la forme la plus facilement accessible, et d'autre part en démultipliant les actions de formation. C'est dans cette perspective que les équipes CLEA de Marseille, d'Orsay et de Strasbourg, ont organisé cet été 3 Universités d'Été, dans lesquelles elles ont cherché à répondre simultanément aux attentes des physiciens et des naturalistes, tout en se plaçant dans une perspective globale. Nous nous sommes efforcés ainsi de démultiplier le nombre de formateurs capables de développer à leur tour des actions de formation académiques.

Celle de ces Universités d'été à laquelle j'ai participé, a fonctionné de façon un peu différente des années passées : nous avons limité le nombre d'activités et leur diversité à des thèmes directement exploitables avec les élèves, réservant du temps aux discussions pédagogiques. Il est tout à fait remarquable que les collègues qui ont participé à cette Université aient à maintes reprises attiré l'attention sur la nécessité de mener concrètement les observations. Nous courrions le danger, tous ceux d'entre nous qui ont déjà eu cette pratique centrée sur les observations, de ne plus retenir, dans le message que nous voulons diffuser largement, que l'interprétation, appuyée éventuellement sur un document de substitution. C'est bien, nous disaient-ils d'utiliser les relevés de taches solaires faits par d'autres pour en déduire que le Soleil tourne sur lui-même, et avec quelle période, mais il faudrait que tout élève à qui l'on proposera cet exercice ait effectivement l'occasion de former lui-même au moins une fois l'image du Soleil sur un écran et d'y identifier une tache. A cette condition-là, l'exercice échappera à devenir académique. La même remarque vaut pour la mesure de la constante solaire par échauffement d'un bloc de laiton : il est essentiel de s'appuyer sur une l'expérience réelle, même si elle doit comporter une certaine imprécision, ou faire appel à un facteur correctif à rechercher dans une table et dont on ne peut pas expliquer complètement l'origine (extinction atmosphérique).

Les deux exemples d'activité pratique que je viens de citer illustrent la possibilité de collaboration entre physicien et naturaliste : le thème "Soleil" proposé en Sciences de la Terre pourrait en effet donner lieu à un enseignement de sciences expérimentales véritablement pluridisciplinaire. Quelques uns des stagiaires de Gap avaient le désir de tenter l'expérience...

Cette Université d'Été a été aussi l'occasion de parfaire la mise au point de deux nouveaux documents issus du Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA. Le premier est un ouvrage destiné aux professeurs de Sciences Naturelles et aux professeurs de Physique, actuellement sous presse chez Hachette<sup>1</sup>, dans la collection Synapse. Il comporte des exposés simples sur "la Terre dans le Système Solaire", "les mouvements de la Terre, de la Lune et des planètes" et "le Soleil et les étoiles", accompagnés d'exercices et d'activités pratiques.

La seconde réalisation est une ensemble de 18 fiches pédagogiques portant sur les thèmes U1 et U3 de Physique pour l'option "sciences expérimentales" de première S. Elles font l'objet d'une co-publication en cours entre le CLEA et les éditions Belin<sup>2</sup>. Elles sont rédigées dans le même esprit que les trois hors-série déjà parus<sup>3</sup> : on y présente chaque fois l'objectif, le matériel nécessaire et on y propose un déroulement et le plus souvent quelques compléments à l'intention de l'enseignant.

L'une et l'autre de ces publications devraient paraître rapidement, courant octobre ; nous espérons que leur prix de vente ne sera pas trop élevé (les auteurs ont tout fait pour cela, remettant aux éditeurs des documents prêts à être imprimés) ; nous espérons aussi qu'ils seront utiles et utilisés.

Nombreux sont les enseignants de Physique qui déplorent le passage en option d'heures (et de thèmes) d'enseignement jusqu'ici obligatoire ; je pense avec eux que l'enseignement des sciences physiques ne se porte pas bien ; il est souvent mal perçu par les élèves, peu défendus par les "décideurs". Il me semble que cette option de "sciences expérimentales" nous donne une chance de travailler dans de meilleures conditions, avec des classes dédoublées, des élèves un peu plus motivés et, surtout, dans un cadre plus libre. Cette chance est à saisir. Les thèmes d'astronomie sur lesquels le CLEA a travaillé depuis déjà longtemps devraient y aider.

Il n'a pas été question du Collège dans ce qui précède. Et c'est vrai que la situation de l'enseignement scientifique y est extrêmement préoccupante, avec en particulier la suppression des Sciences Physiques en 6ème et 5ème... Pour sa part, modeste, le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA prépare une nouvelle série de fiches pédagogiques adaptées au programme de 4ème. Nous aurons l'occasion d'en reparler.

Lucienne GOUGUENHEIM

---

<sup>1</sup> "La Terre et l'Univers" par Lucette Bottinelli, André Brahic, Lucienne Gouguenheim, Jean Ripert et Josée Sert.

<sup>2</sup> "18 Activités Pratiques d'Astrophysique pour les options de 1ère S" par Jean Ripert, Josée Sert, Daniel Bardin, Lucette Bottinelli, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Jacques Vialle, Gilbert Walusinski et le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA.

<sup>3</sup> HS n°1 : "Astronomie à l'école élémentaire", par Victor Tryoën et Michel Laisne ; HS n°2 : "La Lune" par Jean Ripert et Victor Tryoën ; HS n°3 : "Le Temps, les Constellations", par Josée Sert, Cécile Schulman et Gilbert Walusinski.



# L'ANTISOLEIL

Si votre ligne de visée, en partant du Soleil, s'en écarte ( par n'importe quel chemin ) de  $180^\circ$ , elle atteint sur la sphère céleste le point diamétralement opposé au Soleil, ou direction antisolaire. Votre nouvelle ligne de visée est plongeante pendant le jour, et ascendante pendant la nuit; si le Soleil approche du zénith, l'antisoleil approche du nadir, et réciproquement.

L'antisoleil et son voisinage présentent des phénomènes optiques variés. Ceux de l'antisoleil diurne peuvent être fort spectaculaires, mais ils ne sont guère que des curiosités. Ce que l'on observe la nuit - plus difficilement il est vrai - autour de l'antisoleil, est au contraire assez riche d'information sur le milieu interplanétaire, et mérite d'être exploité.

## LES ANTHELIES: Gloires, nimbes et autres auréoles.

L'antisoleil pendant la journée, c'est l'ombre de votre tête. Lorsque cette ombre tombe sur des gouttelettes d'eau ( une pelouse couverte de rosée, par exemple ), elle s'entoure d'une sorte d'auréole, dont l'origine est complexe. L'une des causes réside dans le comportement diffusif des sphères de dimensions avoisinant la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière incidente, ou plus grandes: les directions axiales ( vers l'avant et l'arrière ) diffusent plus efficacement que les directions latérales. Cela est vrai aussi, mais dans un rapport moindre, des obstacles petits devant  $\lambda$  que sont les molécules de l'air, pour lesquelles le rapport d'intensités diffusées axialement et latéralement ne dépasse pas 2 ( voir fig. 1 et note 1 ).

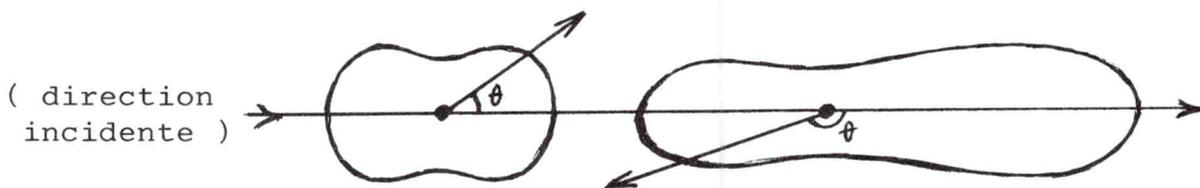


fig. 1: Indicatrices de diffusion ( courbes en coordonnées polaires représentant l'intensité lumineuse diffusée sous des angles variés par rapport à la direction d'incidence ). A gauche, particules  $\ll \lambda$ , molécules gazeuses par exemple; à droite, particules de dimensions voisines de  $\lambda$ , et plus grandes - aérosols et eau liquide en suspension.  $\theta$  est l'angle de diffusion (  $0$  à  $180^\circ$  )

C'est au dessus d'une mer de nuages, en montagne ou en avion, que l'antisoleil diurne exhibe les phénomènes optiques les plus surprenants. L'ombre de l'avion - sauf s'il survole de trop près le sommet

(1) Cette différence permet de juger facilement le degré de pureté de l'atmosphère: il suffit de cacher le Soleil avec un doigt ( sans trembler! car il ne faut jamais fixer le Soleil ) et de regarder le ciel environnant. S'il brille davantage près du Soleil qu'un peu plus loin, c'est que des gouttelettes et des impuretés diffusent vers l'avant. Quand l'air est bien sec et pur, le bleu du ciel est presque uniforme tout autour du Soleil et jusqu'à une bonne quinzaine de degrés de lui, les molécules de l'air ne privilégiant presque pas les directions axiales.

des nuages - peut faire place à une petite tache ronde, plus sombre ou plus claire qu'alentour, et souvent accompagnée d'anneaux irisés. A la surface des nuages, là où se localise cette tache, on verrait le disque du Soleil partiellement occulté par l'avion; si la lumière se propageait rigoureusement en ligne droite, c'est donc toujours un déficit d'éclairement qu'on devrait avoir, jamais un excédent. C'est la preuve directe que l'Optique géométrique est ici en défaut, et qu'il s'agit d'un phénomène de diffraction.

Ces apparences, bien que fugitives, et dépendant beaucoup du calibre des gouttes, ont été décrites en détail par les aérostiers du XIXème siècle, notamment Flammarion et Tissandier. Bien avant, vers 1740, l'expédition de l'Académie des Sciences au Pérou ( pour déterminer, par comparaison avec celle de Laponie, si la Terre est allongée ou aplatie aux pôles ), les avait observées, et l'anthélie est parfois désigné sous le nom de " cercle d'Ulloa ". A propos de ces auréoles concentriques à l'antisoleil individuel de chaque observateur, Bouguer écrit: « C'était comme une espèce d'apothéose pour chaque spectateur; et je ne dois pas manquer d'avertir que chacun jouit tranquillement du plaisir de se voir orné de toutes ses couronnes, sans rien apercevoir de celles de ses voisins » .

### Le GEGENSCHHEIN

La nuit, beaucoup de conditions doivent être réunies pour qu'on aperçoive la tache faiblement lumineuse qui entoure l'antisoleil, et dont le nom allemand a prévalu ( sur l'anglais " counter glow " et le français " lueur antisolaire " ): l'antisoleil doit être haut dans le ciel et loin du plan galactique; ni lune, ni pollution lumineuse; des yeux excellents, habitués depuis un long moment à la quasi-obscurité, et regardant à une dizaine de degrés de l'antisoleil géométrique ( l'axe visuel souffre en effet d'une déficience en cellules rétiniennes adaptées à la vision nocturne ou " scotopique ", en sorte qu'il vaut mieux chercher les sources faibles en les regardant de travers ). Vous pouvez essayer de traquer le Geggenschhein en février dans le Lion et en octobre dans les Poissons.

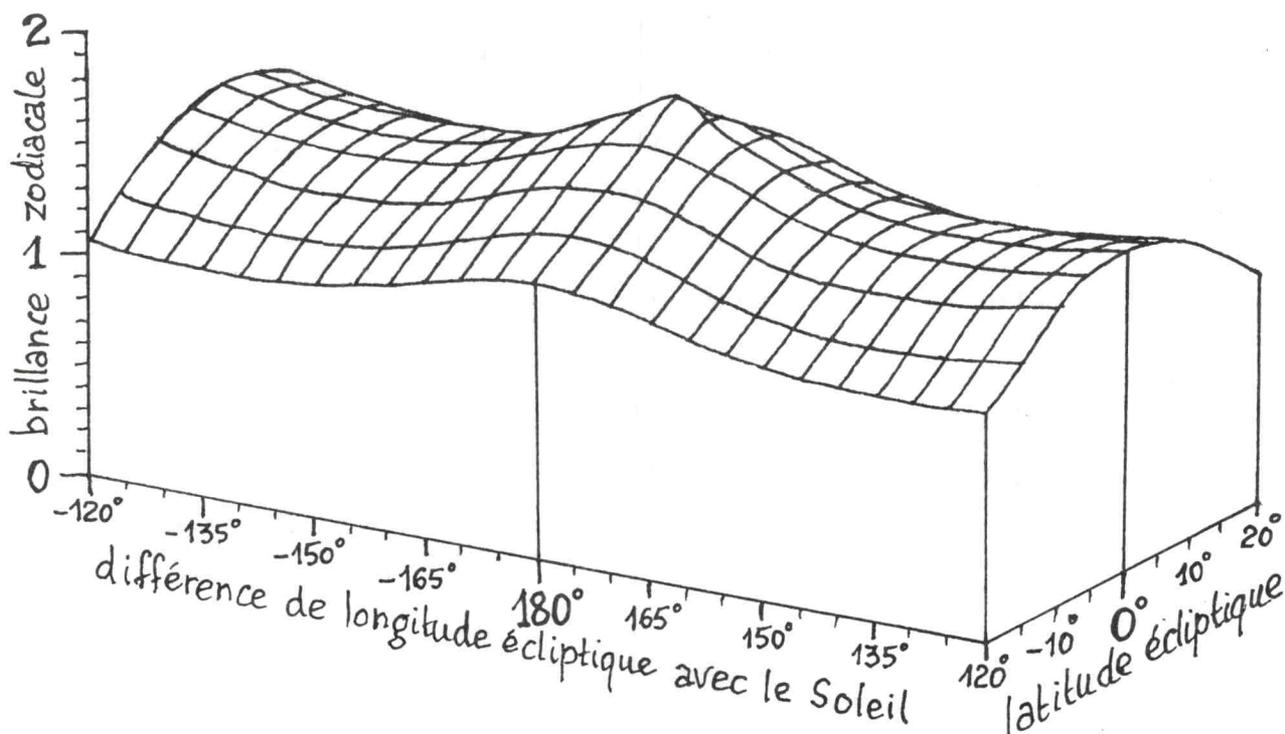


fig. 2

Brillance du zodiaque dans la région antisolaire

La brillance générale du ciel nocturne dans une région où l'oeil ne voit pas d'étoile est un mélange de sources dont les principales sont:

- les étoiles trop faibles pour être visibles individuellement, mais qui créent un fond diffus;
- la luminescence de la haute-atmosphère, irrégulière et changeante;
- la diffusion de la lumière solaire par le nuage de matière interplanétaire dans lequel sont plongées la Terre et les planètes, jusqu'aux astéroïdes au moins.

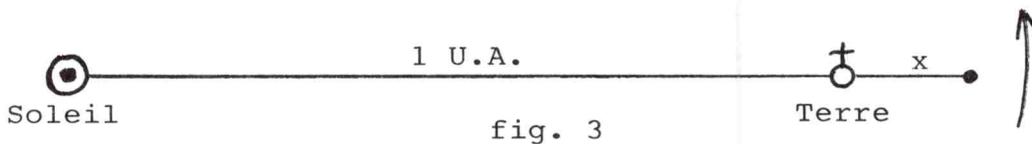
Les observations photométriques de cette dernière source, appelée " Lumière Zodiacale " ( du moins celles qui retranchent correctement les deux premières ) montrent un petit pic de brillance qui dépasse de 30% le " marais " qui recouvre l'écliptique entre  $\pm 120^\circ$  et  $\pm 160^\circ$  d'élongation solaire ( fig. 2 ). Si le Gegenschein n'était pas délavé par les deux premières sources, il serait donc assez bien visible. Mais le fond stellaire et la luminescence atmosphérique font chuter son contraste à quelque 10%.

### L'origine du Gegenschein

Remarquons d'abord qu'un léger excédent de lumière dans la direction antisolaire est non moins paradoxal de nuit que de jour. Logiquement, c'est une tache un peu plus sombre qu'on attendrait, puisque la ligne de visée s'attarde plus qu'une autre dans le cône d'ombre et de pénombre de la Terre, qui apporte une contribution moindre à la brillance du ciel.

Signalée vers le milieu du XIXème siècle ( Brorsen ) et probablement aperçue cinquante ans plus tôt par Alexander von Humboldt, cette faible lueur a beaucoup intrigué les astronomes, qui lui ont imaginé nombre d'explications possibles.

L'une des plus séduisantes, et qui resta longtemps en faveur, était fondée sur un calcul simple de mécanique céleste. Si une poussière se trouve alignée avec le Soleil et la Terre, du côté antisolaire, et à une distance  $x$  (U.A.) de la Terre, telle que le déficit de gravitation solaire ( par rapport à la distance de 1 U.A. ) soit exactement compensé par l'attraction terrestre, cette poussière pourra tourner autour du Soleil en un an comme le fait la Terre, et non pas en  $( 1 + x )^{3/2}$  an, comme le voudrait la 3ème loi de Képler, en l'absence de la Terre.



En écrivant que les deux astres attirent la particule en raison inverse de ses distances à eux, et en raison directe de leurs masses, qui sont dans le rapport 333 000, et en vous souvenant de l'expression  $\omega^2 r$  de l'accélération d'un mouvement circulaire uniforme de vitesse angulaire  $\omega$ , vous trouverez la distance  $x$  égale environ à 1/100 d'U.A.

Une particule se trouvant dans cette région serait donc géostationnaire par rapport à la révolution orbitale de la Terre, tout comme les satellites artificiels placés à 36 000 km d'altitude le sont par rapport à sa rotation.

Cette position particulière du 3ème corps ( de masse négligeable ) est l'une de celles où Lagrange a montré que le " problème des trois corps " se simplifie. Bien que les orbites possibles du 3ème corps dans le voisinage de cette position ne soient théoriquement pas des orbites stables, il était tentant de penser que des météorides auraient tendance à s'y accumuler, et à y provoquer la lueur.

Mais une objection à cette hypothèse fut qu'un nuage situé à une distance 100 fois inférieure à celle du Soleil, aurait une parallaxe 100 fois supérieure à celle du Soleil, soit 1/4 de degré environ. Or, le point le plus brillant coïncide souvent avec l'antisoleil, et le sens des écarts, lorsqu'il y en a, ne paraît pas s'inverser systématiquement vers minuit. Une autre objection fut que cette distance de 1/100 d'U.A. dépasse à peine la longueur du cône d'ombre terrestre: Le Soleil, vu du point d'équilibre de Lagrange ( et même d'un peu plus loin, dans le cône de pénombre ) est en grande partie masqué par la Terre, en sorte que la matière, mal éclairée, aurait à s'y accumuler considérablement pour produire l'excès de brillance observé.

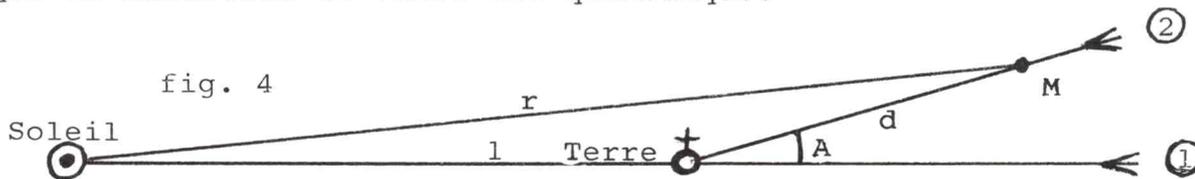
D'autres interprétations du Gegenschein, également liées à la Terre, invoquent une excroissance de l'atmosphère à l'opposé du Soleil, plus ou moins analogue à une queue de comète. Il est vrai que si la dyssymétrie antisolaire de la magnétosphère était visible, elle aurait un peu cet aspect.

Il y a vingt ans à peine qu'on sait que le Gegenschein n'a rien à voir avec notre planète. Les sondes spatiales Pioneer 10 et 11 ont embarqué de petits photomètres qui nous ont transmis des cartes, malheureusement partielles, de la Lumière Zodiacale telle qu'on la voit quand on s'éloigne du Soleil. Ils la détectèrent jusqu'à plus de 3 U.A.; et le petit pic de brillance antisolaire s'y est montré - moins intense qu'à 1 U.A., bien sûr - toutes les fois que cette région du ciel a été observée. Le Gegenschein ne peut donc être attribué qu'au comportement optique des grains de poussière interplanétaire, qui agissent comme des cataphotes, en renvoyant davantage de lumière dans la direction même de la source, que latéralement.

#### L'intérêt des visées antisolaires: une direction privilégiée.

Un simple effet de " rétrodiffusion ", voilà qui est plutôt banal, puisqu'on en trouve un, le plus souvent, lorsqu'on étudie l'indicatrice de diffusion des matériaux pulvérulents. Et d'ailleurs, le sol de la Lune se comporte optiquement de cette façon, car elle est 10 fois plus brillante quand elle est pleine qu'en ses quartiers - et non pas seulement 2 fois plus. Alors, le Gegenschein n'est-il, comme les anthélies diurnes, qu'une aimable curiosité?

Non, car la brillance du ciel nocturne autour de l'antisoleil est riche d'informations sur le nuage interplanétaire au delà de l'orbite terrestre; et ces informations sont moins difficiles à extraire que lorsque la direction de visée est quelconque.



Supposons que, depuis la Terre, le regard balaye le plan de l'écliptique ( qui est le plan de la fig. 4, et aussi, approximativement, le plan de symétrie du nuage aplati ). La fonction  $r(d)$  représentant la distance  $r$  au Soleil d'un point  $M$  de la ligne de visée, selon sa distance  $d$  à la Terre, est presque indépendante de l'angle  $A$  tant que

celui-ci reste  $\ll 1$  radian ( disons, une quinzaine de degrés ). On a, à fort peu près,  $r \approx d + 1$ . Par exemple, pour  $d = 1$  U.A. et  $A = 10^\circ$ ,  $r$  vaut 1,992 U.A., et n'a donc diminué que de 0,4% entre la visée anti-solaire ① et la visée latérale ② .

Quel que puisse être le profil de la distribution des poussières ( pourvu qu'elle soit de révolution autour du Soleil ), il va rester pratiquement le même le long de toutes les visées voisines de l'antisoleil. La chute de brillance qu'on observe ( 11% pour  $A = 10^\circ$  ) ne peut donc être que très faiblement liée à la distribution des poussières, et presque totalement due à l'effet cataphote. La coupe du Gegenschein suivant l'écliptique, c'est-à-dire la ligne de crête longitudinale de la fig. 2, dessine donc directement le profil de cet excès de rétrodiffusion, et permet, en le comparant à celui des comètes ou des astéroïdes, par exemple, de tester les théories sur l'origine du nuage.

Supposons enfin que le regard balaye un cône de révolution pointu, axé sur l'antisoleil ( angle  $A$  constant ). Alors la figure 4 va tourner sans se déformer autour de  $\odot$ . L'effet cataphote va rester constant au cours de cette rotation; le déficit de brillance observé hors de l'écliptique sera entièrement dû à la raréfaction de la poussière quand on s'éloigne de ce plan, et il permettra de la calculer.

Si l'angle  $A$  augmente trop, c'est-à-dire si l'on quitte le Gegenschein, on a le long de chaque visée un mélange beaucoup plus inextricable des variations de la densité et de celles du pouvoir de diffusion latéral. C'est en explorant la région antisolaire qu'on a les meilleures chances de débrouiller partiellement cet écheveau, et d'obtenir, à partir de l'observation optique du fond du ciel nocturne, des propriétés locales crédibles du nuage interplanétaire.

René Dumont et Michel Rapaport  
Observatoire de Bordeaux

### Lectures

- R.G. ROOSEN: An annotated bibliography on the Gegenschein  
Icarus ( 1970 ) 13, p. 523.
- S.S. HONG and S.M. KWON: On the Gegenschein and the symmetry plane  
dans: Origin and Evolution of Interplanetary Dust (A.C. Levasseur-Regourd & H. Hasegawa, éditeurs ) Kluwer ( 1991 ), p.147.
- R. DUMONT: Zodiacal Light and Gegenschein  
dans: The Astronomy and Astrophysics Encyclopedia ( S. Maran, éditeur ) Van Nostrand Reinhold ( 1992 ), p. 969.
- J.B. RENARD: Mise en évidence de l'évolution des propriétés optiques et physiques des grains dans le système solaire  
Thèse, Université de Paris VI ( 1992 ).

# Un jardin astronomique

Germano Afonso et Thaisa Nadal

Université fédérale du Parana (Brésil)

Depuis la préhistoire, l'Homme a observé qu'il y avait des variations de température et que les animaux, les fleurs et les fruits venaient selon les différentes saisons de l'année. Ainsi a-t-il commencé à enregistrer les phénomènes célestes, principalement les mouvements apparents du Soleil.

L'Archéoastronomie est la discipline qui étudie les connaissances astronomiques des anciens peuples et la façon dont ils ont utilisé ces connaissances dans la religion, la mythologie, les arts et dans la vie quotidienne. Ainsi regroupe-t-elle, parmi d'autres, des chercheurs en Astronomie, Anthropologie, Archéologie et Histoire de l'art. Cette discipline a commencé par l'étude des ruines de monuments préhistoriques sur lesquels on observe des alignements avec orientations astronomiques. Certaines de ces orientations sont relatives aux positions du lever et du coucher du Soleil, de la Lune et des étoiles les plus brillantes, les positions du Soleil étant, en général, celles des solstices et des équinoxes. Les études de certains sites archéologiques, comme Stonehenge en Angleterre et Carnac en France, ont permis aux archéoastronomes de vérifier que certaines civilisations du mégalithique possédaient une bonne connaissance astronomique.

Presque toutes ces observations astronomiques ont été réalisées au moyen d'un gnomon (style vertical projetant son ombre sur un terrain horizontal) qui a été utilisé également dans les civilisations majeures, aussi bien en Egypte (obélisques) au XV<sup>ème</sup> siècle av J.-C. qu'en Chine, avant le XI<sup>ème</sup> siècle av J.-C. et qu'en Grèce au VII<sup>ème</sup> siècle av J.-C. Avec le gnomon, on peut développer plusieurs activités astronomiques comme la détermination de l'heure solaire, des points cardinaux, des saisons de l'année, de la durée du jour, de la hauteur du Soleil et de la latitude du lieu d'observation. Le gnomon, simple bâton vertical, a joué un rôle très important et parfois sous-estimé dans le développement de l'astronomie.

Nous avons remarqué que la plupart des personnes, surtout celles qui vivent dans les grandes villes, ne se sont jamais aperçues, en observant la nature, que le Soleil ne se lève pas tous les jours dans la même direction et qu'il y a des fleurs qui poussent même pendant l'hiver.

En pensant à ces personnes, nous avons conçu, projeté et réalisé un jardin astronomique dans la ville de Guarapuava (Parana, Brésil) dans le but de fournir des outils didactiques alternatifs aux méthodes d'enseignement-apprentissage en Astronomie et Botanique, concernant les élèves des collèges et cours moyens de deuxième année (CM2).

Au centre du jardin, nous avons mis sur le terrain un tronc de bois cylindrique qui sert de gnomon et nous avons repris quelques façons d'observer la nature utilisées par les anciens peuples. En l'absence d'un langage écrit, l'Homme primitif a utilisé des pierres pour enregistrer ses observations astronomiques parce qu'elles étaient plus résistantes aux intempéries. Nous, dans ce travail, étant donné son objectif didactique, nous avons utilisé des fleurs.

Toutes les données astronomiques dont on a besoin pour construire un jardin astronomique peuvent être trouvées au Bureau des Longitudes (MINITEL : 36 16 code BDL). Dans la suite, nous donnerons des exemples pour Paris en 1994 :

Coordonnées de Paris : Latitude = 48°50' Nord ; Longitude = 2°20' Est

Les instant sont donnés en temps légal en France.

## 1. DETERMINATION DES POINTS CARDINAUX

Quand le Soleil se lève, l'ombre du gnomon est de longueur maximale. Au fur et à mesure que le Soleil monte par rapport à la ligne d'horizon, la longueur de l'ombre décroît jusqu'à devenir minimale quand le Soleil atteint sa hauteur maximale (culmination). Ensuite, au fur et à mesure que le Soleil descend, l'ombre du gnomon change de direction et augmente en longueur de plus en plus jusqu'au coucher du Soleil.

Quand l'ombre du gnomon, projetée par le Soleil, est minimale, on a le midi solaire ou midi vrai local. A cet instant, on a également la ligne méridienne locale ou ligne nord-sud, le Soleil étant au sud (à sa culmination) et l'ombre du gnomon au nord (à son minimum). A partir du gnomon, on marque avec des petits bâtons, la direction du Soleil (sud) et la direction de l'ombre (nord). On marque aussi les deux directions perpendiculaires à la ligne méridienne, celle du côté où le Soleil se lève va vers l'est, celle du côté où le Soleil se couche va vers l'ouest. On a ainsi les quatre points cardinaux.

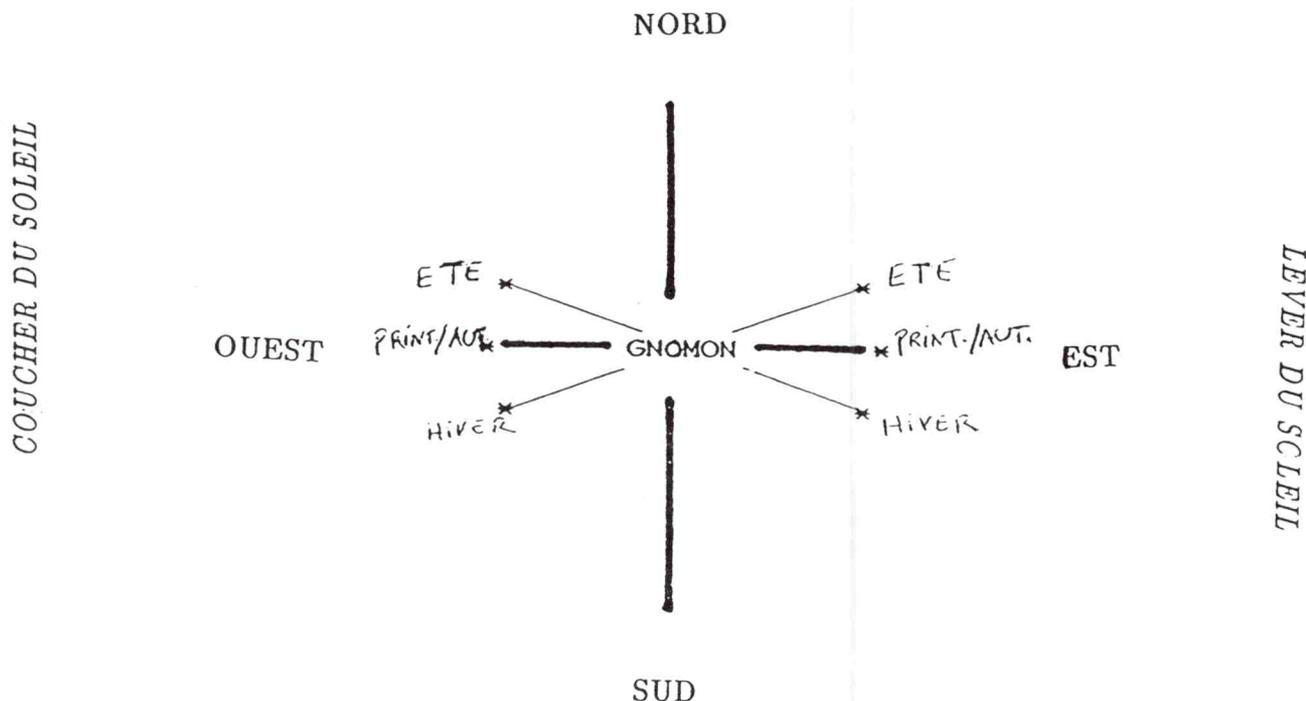
En général, le midi solaire (midi vrai) ne coïncide pas avec le midi (12h) de nos montres. Cela dépend de la longitude du lieu d'observation mais en plus il y a des petites différences de temps selon le jour de l'année, différences qui résultent des variations de la vitesse de révolution de la Terre autour du Soleil. On donne ci-après les instant du midi vrai à Paris pour chaque début de saison de l'année, en temps légal en France :

Printemps (20/03/1994) : 12h 59min	Été (20/06/1994) : 13h 53min
Automne (23/09/1994) : 13h 43min	Hiver (22/12/1994) : 12h 49min

Les points cardinaux ayant été déterminés, on a écrit, avec des fleurs, les lettres N, S, E et O dans les directions Nord, Sud, Est et Ouest respectivement. On a planté dans la ligne méridienne des végétaux qui fleurissent toute l'année et dans la ligne Est-Ouest; des végétaux qui fleurissent en automne et au printemps.

## 2. DETERMINATION DES SAISONS DE L'ANNEE PAR LE LEVER ET LE COUCHER DU SOLEIL

En observant l'ombre du gnomon projetée par le Soleil, à différentes époques de l'année, on remarque que le Soleil se lève et se couche dans différentes directions selon la saison de l'année. Pendant l'été, le Soleil se lève et se couche plus au nord et pendant l'hiver plus au sud. Le Soleil atteint les points extrêmes dans les jours de solstices : en été (21 ou 22 juin) et en hiver (21 ou 22 décembre).(fig 1)

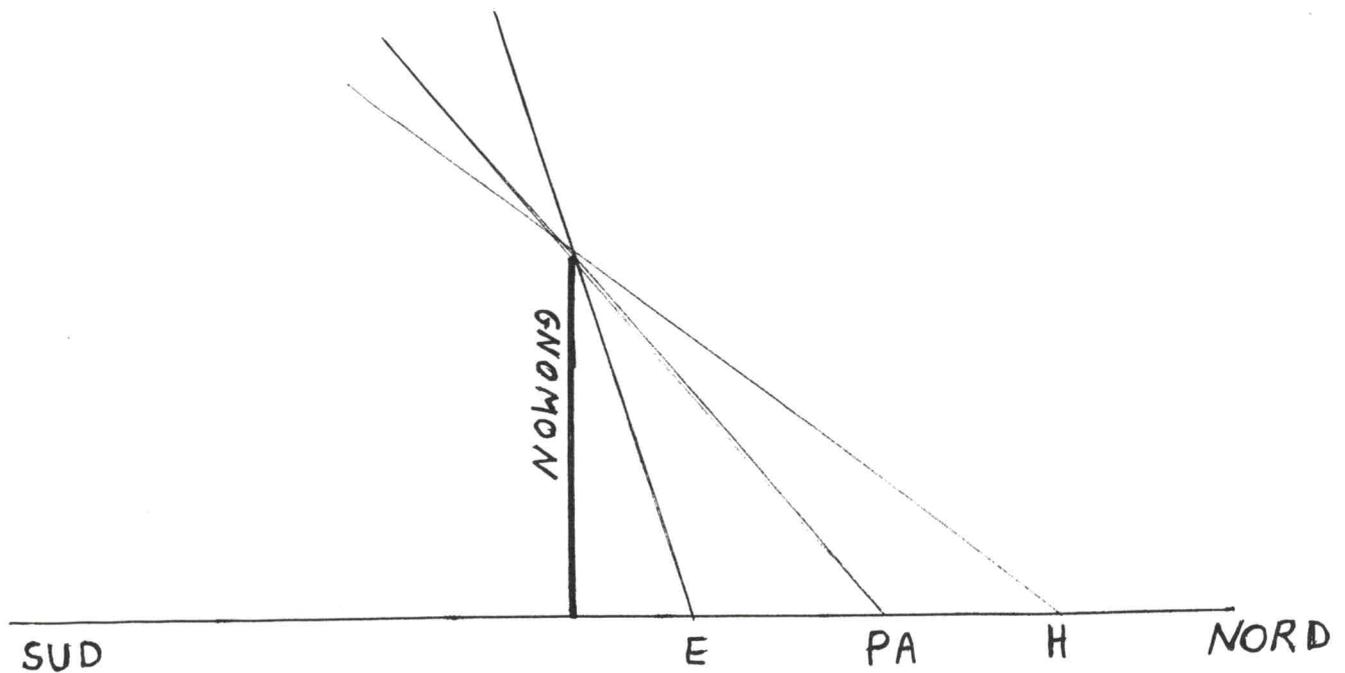


Les angles (A) des directions extrêmes, par rapport à la ligne est-ouest, sont égaux. Le Soleil se lève exactement à l'est et se couche exactement à l'ouest seulement les jours d'équinoxe : en automne (23 septembre) ou au printemps (20 ou 21 mars). On remarque que le temps mis par le Soleil pour le retour à un même point extrême (été à été par exemple) est d'environ 365 jours. Si l'on fait des observations pendant plusieurs années, on constate que ce temps est d'environ 365,25 jours(l'an). La valeur de l'angle (A) des directions extrêmes (été, hiver) par rapport à la ligne est-ouest est d'environ  $37^\circ$  pour Paris.

On a écrit, avec des fleurs, les mots E, PA et H dans les directions du lever et du coucher du Soleil en été, printemps/automne et hiver. On a planté, sur chaque ligne, des végétaux qui fleurissent pendant la saison correspondante.

### 3. DETERMINATION DES SAISONS PAR L'OMBRE A MIDI SOLAIRE

En été, à midi solaire (midi vrai local), l'ombre du gnomon (dans la direction nord) est plus petite qu'en hiver, à midi solaire, puisque le Soleil est plus haut (dans la direction sud) par rapport à la ligne d'horizon. En automne et au printemps, elle occupe une position entre ces deux points extrêmes. Ainsi à midi solaire, on peut déterminer les jours du début de chacune des quatre saisons de l'année. On remarque encore que le temps mis par l'ombre du gnomon pour revenir à la même longueur minimale dans la direction nord-sud (donc été à été) est d'environ 365 jours et si l'on fait les observations pendant plusieurs années, on constate que ce temps est d'environ 365,25 jours(l'an). (fig.2)



A Paris, la hauteur du Soleil, à midi solaire, pour chaque début de saison est :

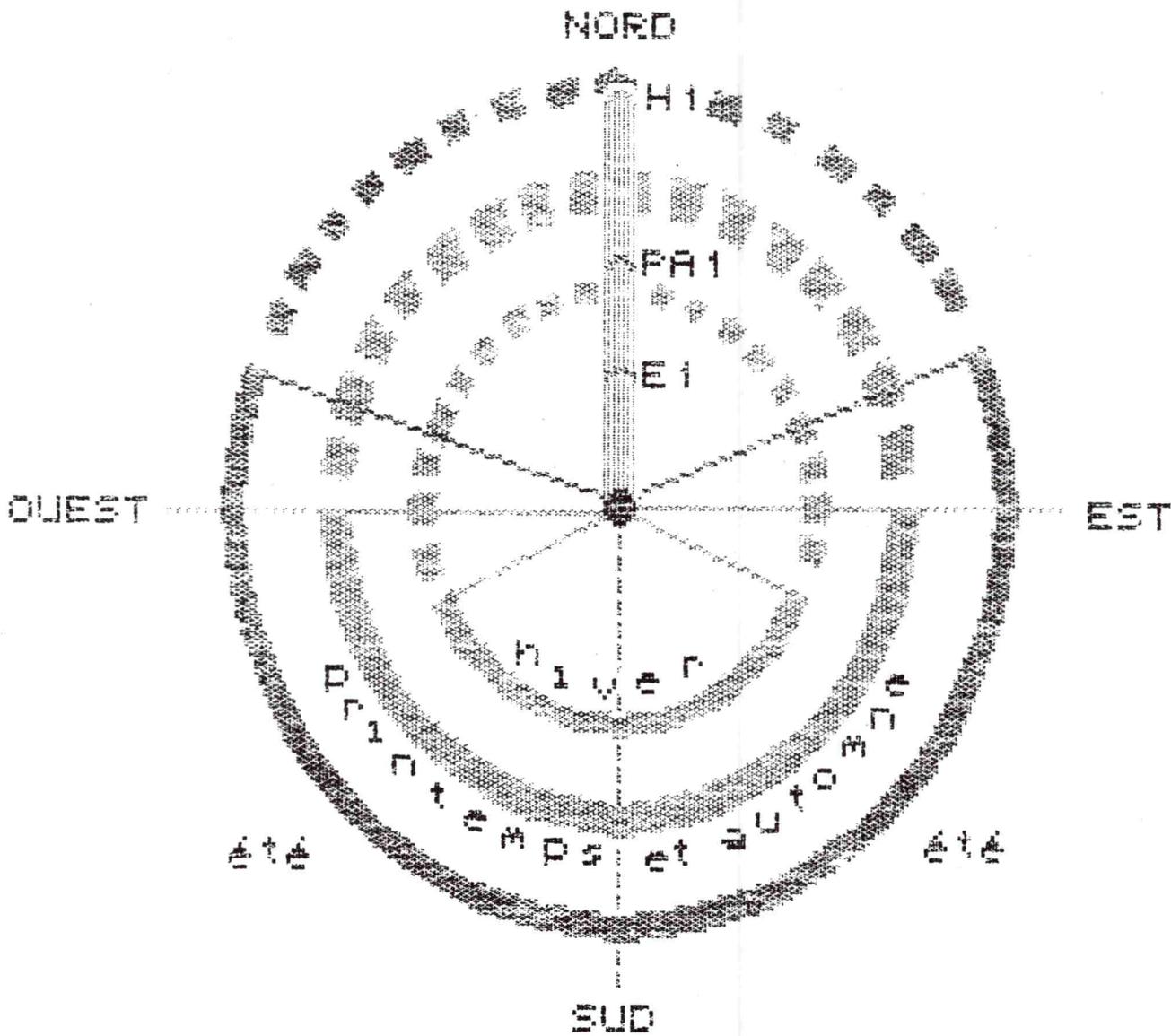
Printemps (20/03/1994) :  $41^\circ 10'$                       Eté (20/06/1994) :  $64^\circ 37'$

Automne (23/09/1994) :  $41^\circ 10'$                       Hiver (22/12/1994) :  $17^\circ 43'$

Si on considère un gnomon de deux mètres de hauteur, la longueur de l'ombre au début de chaque saison sera :

Printemps : 2,29 m ; Eté : 0,95 m ; Automne : 2,29 m ; Hiver : 6,26 m

Sur la ligne nord-sud, on a planté des plantes qui fleurissent toute l'année mais aux points de cette ligne où l'ombre arrive lors du midi solaire on a écrit E, PA et H avec des fleurs de la saison correspondante.



#### 4. DETERMINATION DE LA DUREE DU JOUR SELON LES SAISONS DE L'ANNEE

Pour matérialiser la durée des jours selon la saison de l'année, on a construit des arcs liant les points atteints par l'ombre du gnomon du lever au coucher du Soleil en passant par le sud. En observant ces arcs on remarque que l'arc de l'été est le plus grand, celui de l'hiver le plus petit et que l'arc correspondant aux équinoxes est entre les deux.

Aux équinoxes de printemps et d'automne, l'arc marquant la durée du jour est égal à 180°. En hiver, l'arc de la durée du jour est plus petit que 180°, en été il est plus grand. Ainsi parvient-on à comprendre pourquoi la durée du jour (durée pendant laquelle le Soleil est au-dessus de l'horizon) est plus grande en été qu'en hiver et pourquoi la durée du jour aux équinoxes est la même et très voisine de 12 heures.

A Paris, les heures de lever et de coucher du Soleil aux solstices et aux équinoxes sont

		<u>durée du jour</u>
Printemps (20/03/1994) :	06h 56min - 19h 02min	12h 06min
Eté (20/06/1994) :	05h 49min - 21h 56min	16h 07min
Automne (23/09/1994) :	07h 39min - 19h 46min	12h 07min
Hiver (22/12/1994) :	08h 43min - 16h 55min	08h 12min

Dans chaque arc, on a planté des fleurs de la saison correspondante.

#### CONCLUSION

Grâce au jardin astronomique, les promeneurs apprennent à reconnaître, en observant le mouvement du Soleil, comment les anciens peuples établissaient leurs calendriers et obtenaient, avec une très bonne précision, les quatre points cardinaux, comme à Stonehenge et à Carnac (archéoastronomie). Ils apprennent aussi à reconnaître, dans la pratique quelques espèces du règne végétal et observent les plantes qui fleurissent selon la durée de l'ensoleillement (photopériodisme).

Le jardin astronomique que nous avons construit à Guarapuava est seulement un prototype de 36 m<sup>2</sup>. Cependant, nous sommes surpris par le nombre de visiteurs (élèves, professeurs et personnes de la communauté) venus le visiter et par le nombre de personnes qui nous ont demandé des renseignements astronomiques pour construire un jardin semblable. Nous avons ainsi été encouragés à poursuivre cette activité.

# Traitement d'images et enseignement de l'astronomie

J. Vétois

CAI (MAMA) Observatoire de Paris

Les logiciels de visualisation et d'analyse d'images sont d'utilisation courante dans les laboratoires d'astronomie. La puissance de calcul des micros est aujourd'hui telle qu'elle permet souvent le fonctionnement de logiciels qui offrent des fonctions similaires à celles des logiciels scientifiques et qui deviennent disponibles pour l'enseignement tant dans les lycées que dans les universités. Il existe maintenant dans le Domaine Public des adaptations pour micro-ordinateur des logiciels utilisés en astronomie.

MacVisual est issu des travaux menés dans le cadre du CAI ( Centre d'Analyse des Images) qui assure le développement et le fonctionnement de la MAMA (Machine Automatique à Mesurer pour l'Astronomie)<sup>1</sup>, instrument conçu et mis en oeuvre par l'Institut National des Sciences de l'Univers pour l'exploitation informatisée des clichés astronomiques. La généralisation des stations de travail a nécessité la création de logiciels de visualisation des images numérisées par la MAMA dans les environnements standards sur ces machines Unix et X-Window:

- Visual comme application autonome lisant des fichiers images enregistrés sur disque
- AcqVisual intégré dans la chaîne des traitements de la MAMA par l'intermédiaire d'un réseau Ethernet

MacVisual est né de l'adaptation de ces logiciels à l'interface du Mac.

## La MAMA

Les plaques photographiques sont encore largement utilisées en astronomie car elles donnent accès à de larges zones du ciel et permettent par analyse des clichés anciens d'étudier les mouvements et les variations d'éclat des objets.

Aujourd'hui ce dépouillement des clichés est automatisé et des microdensitomètres ont été construits dans de nombreux pays (notamment en Angleterre, aux USA et en France). La MAMA est un des plus performants actuellement tant du point de vue rapidité que précision. Le principe de base est la lecture en transparence de plaques ou de films photographiques posés sur une table horizontale mobile selon deux axes ( voir figure 1). Une lampe munie d'un filtre monochromatique éclaire le cliché par en dessous et une optique lit le signal grâce à un détecteur Reticon multivoie de 1024 photodiodes. Avec un tel système, 1024 pixels sont lus simultanément et cet ensemble autorise l'analyse en quelques heures avec un pas de 10 microns d'un cliché de 35 centimètres de côté. La qualité mécanique de la table lui permet de faire des mesures extrêmement précises: meilleures que 1 micron en précision absolue et 0.2 microns en répétitivité géométrique<sup>2</sup>. La MAMA permet également malgré sa vitesse de traitement de faire de la photométrie photographique avec une bonne précision: le détecteur fournit une mesure du flux lumineux avec une erreur absolue de 2 %.

L'analyse des clichés à l'aide de la MAMA a déjà permis d'obtenir de nombreuses informations scientifiques. En astronomie, citons en vrac l'étude de la chromosphère du soleil, la détermination des trajectoires des satellites des planètes géantes (Jupiter, Saturne....), celle des mouvements propres des étoiles grâce à l'analyse comparative de clichés pris à des époques différentes, la détection de candidats quasars et l'étude des contre-parties optiques de sources détectées dans le domaine radio, X ou dans l'infra-rouge. Sur terre, la comparaison de photographies aériennes ou prises par le satellite Spot a mis en évidence l'évolution du littoral et de la couverture végétale ( Pointe d'Arçay en Vendée, Baie du Mont-Saint-Michel).

---

<sup>1</sup>Photographic Astronomy with MAMA  
J. Guibert et O. Moreau  
1991, The Messenger, 64, 69

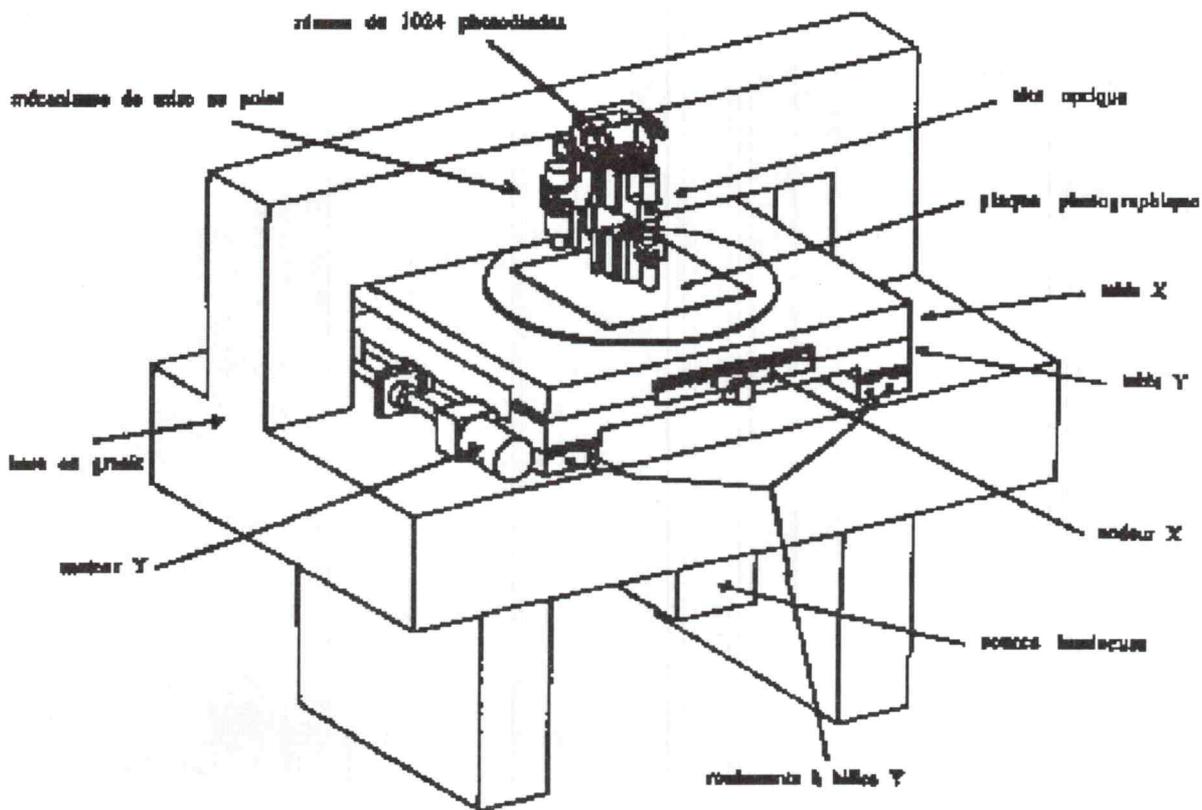


Figure 1

## La visualisation d'images avec MacVisual

MacVisual est un programme de visualisation d'images (en niveaux de gris). Il accepte les fichiers image sous un format quasi-standard en astronomie: FITS ainsi que sous les formats du monde Mac: PICT et TIFF. On peut lire également des images dans des formats différents en fournissant interactivement un certain nombre de paramètres de l'image (nombre de lignes, de colonnes, longueur de l'entête ...). Les images sont affichées avec 256 couleurs paramétrables par l'utilisateur. L'échelle des niveaux de gris est comprise entre 0 et 65536 pour les images 16 bits et entre 0 et 255 pour les images 8 bits.

L'interface de MacVisual ne surprendra pas un familier de l'univers Mac. Une documentation est accessible en ligne ( menu Aide sous Fichier) et explique le rôle des différents menus. Une fenêtre "Messages" affiche les commentaires de MacVisual aux actions entreprises par l'utilisateur (figure 2). Ces messages sont conservés dans un fichier "mouchard" de telle façon que l'utilisateur puisse conserver une trace de son travail.

MacVisual adapte l'image aux dimensions de l'écran et permet de faire des zooms de l'image entière (si cela est possible) ou de zones de l'image sélectionnées par l'utilisateur (voir figure 2 une vue d'un amas de galaxies dans la constellation de Coma). Celui-ci peut également modifier les dimensions des fenêtres et des vues en cliquant dans les cases de zoom ou de contrôle de taille de celles-ci. Les différentes vues ainsi obtenues sont gérées par une pile et à un instant donné, seule la dernière vue, au sommet de cette pile est accessible. Cliquer dans une fenêtre ramène celle-ci au sommet de la pile et la rend disponible. Des fenêtres peuvent être effacées, soit par menu, soit en cliquant dans la case de fermeture de celles-ci. Trois tables de couleurs sont directement utilisables: une dite "Standard" correspond aux "fausses couleurs" utilisées ordinairement à la MAMA pour afficher les images, une dite "Noir et Blanc" permet de retrouver l'aspect des clichés astronomiques et enfin "Palette Système" est la palette par défaut des Macs avec moniteur 256 couleurs. L'utilisateur peut également modifier interactivement les tables de couleurs, enregistrer celles-ci sous forme de fichiers binaires et les rappeler suivant ses besoins. Quelques tables sont fournies avec MacVisual dans le répertoire "Palettes".

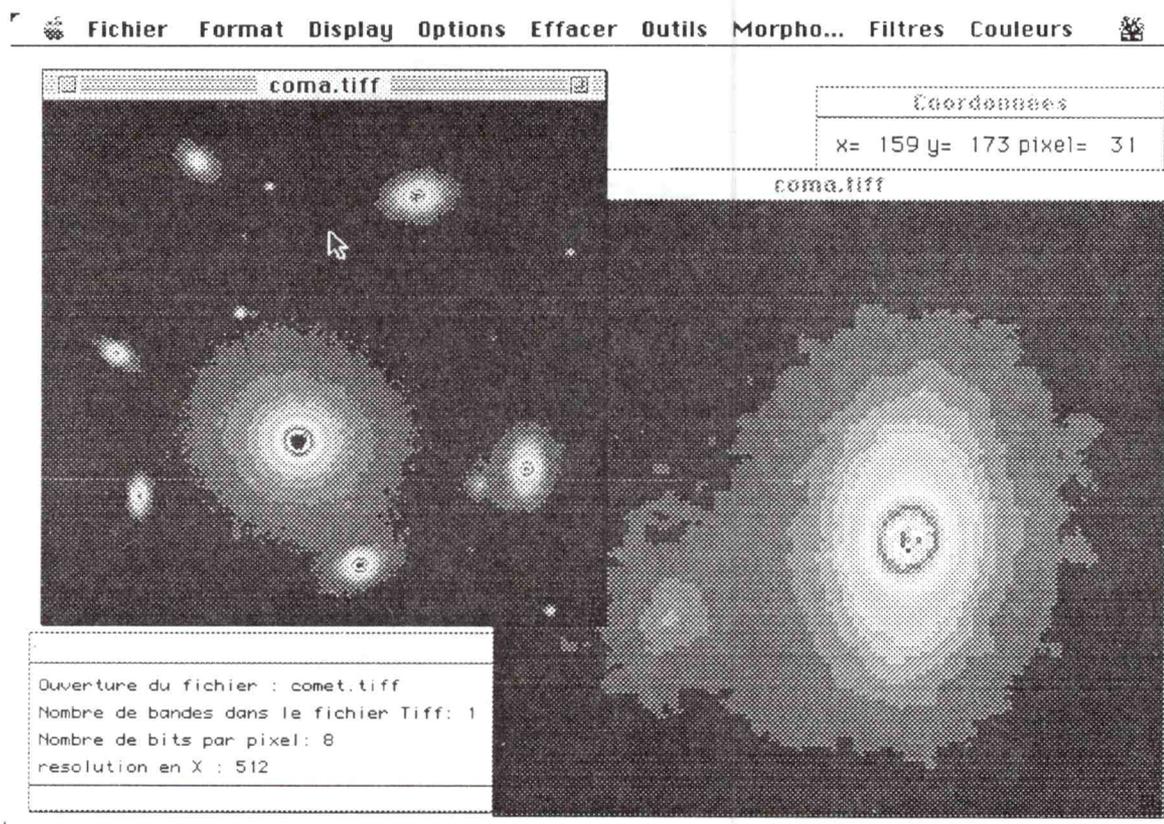


Figure 2

## Analyse et traitement d'images

MacVisual fournit un certain nombre d'outils facilitant l'analyse des images. Une fonction "Pointer" permet d'enregistrer les coordonnées et la valeur de chaque pixel cliqué par l'utilisateur dans un fichier éditable. On peut également calculer la moyenne et l'écart-type d'une zone de l'image choisie interactivement et la stocker également dans un fichier. Ces fonctions sont très utilisées en astronomie (pointés des objets, calcul du "fond de ciel" moyen ou mesure des plages de calibration des plaques photographiques). MacVisual affiche à la demande l'histogramme de l'image entière ou de certaines zones de celle-ci. De même, le profil d'une ligne de l'image ou la coupe d'un objet selon un axe quelconque sont immédiats. L'affichage en 3D d'une zone de l'image en dépit d'un temps d'exécution assez long sur Mac peut s'avérer utile dans certains cas.

MacVisual n'est pas un logiciel complet de traitement d'images qui demande une puissance de calcul sans commune mesure avec celle d'un Mac. Il offre néanmoins une palette d'outils qui ne se limitent pas à ceux utilisés couramment en astronomie:

- seuillage de l'image
- transformation d'une image en niveaux de gris en image binaire
- filtrage de l'image (Egalisation d'histogramme, filtre de la moyenne, filtre de la médiane)<sup>3</sup>.
- opérateurs classiques de convolution (gradient, laplacien, de Gauss ....)
- opérateurs morphologiques (érosion, dilatation, ouverture, fermeture)<sup>4</sup>.

Pour les images astronomiques, MacVisual fournit deux outils de base:

- calcul du "fond de l'image" et soustraction de celui-ci.

<sup>2</sup> Traitement de l'image sur micro-ordinateur  
J.J. Toumazet

<sup>3</sup> Précis d'analyse d'images  
M. Coster et J.L. Chermant

- calcul de certains paramètres des objets contenus dans l'image:  
aire (en nombre de pixels), flux, boîte d'encadrement, coordonnées du centre de gravité, coordonnées du centre d'inertie, valeur et coordonnées d'un pixel de valeur maximale et paramètres de l'ellipse de dispersion des valeurs des pixels de l'objet (a, b, excentricité, orientation en degrés).

L'utilisateur doit fournir le niveau de seuillage et l'aire minimale des objets à retenir. Ces paramètres sont enregistrés dans un fichier dont le nom est fourni par l'utilisateur. Une carte des objets du champ peut-être tracée.

### Deux exemples

-Etude de Saturne à partir d'un cliché CCD<sup>4</sup>

La figure 3 montre comment une coupe de l'image permet de déterminer approximativement la distance des anneaux visibles à partir d'un cliché fourni par un télescope d'amateur.

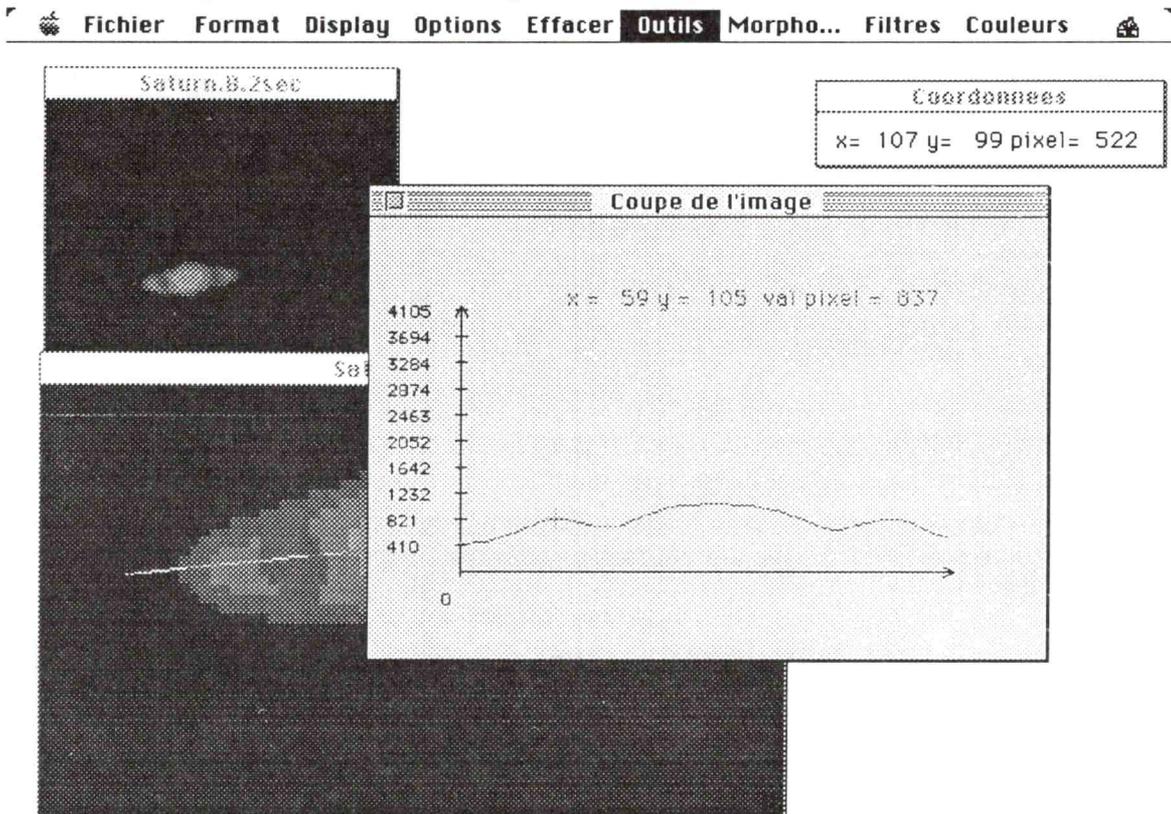


Figure 3

-Etude d'une image CCD du champ des Hyades<sup>4</sup>

La première étape consiste à calculer le "fond de ciel" du cliché et à le retrancher puis à rechercher les objets en fixant un seuil au dessus de ce fond. MacVisual fournit le flux (somme des valeurs des pixels de l'objet) et les coordonnées du centre d'inertie et la carte des objets (figure 4).

Grâce à une carte du champ extraite d'un atlas du ciel, on essaie de retrouver dans la liste des objets fournis par MacVisual les étoiles les plus brillantes des Hyades ( $\alpha$  Tauri ...) dont la magnitude et les coordonnées équatoriales sont connues avec précision. Les résultats de cette recherche sont rassemblés dans le tableau ci-dessous:

<sup>4</sup> accompagnant le logiciel MIRA (Macintosh Image Reduction and Analysis) réalisé par Tim DeBenedictis

N°	Nom	mag	Flux	log Flux	xg	yg	$\alpha$	$\delta$
2		5.06	2044	3.311	53	31	3h48.3	11°08
3	$\lambda$ Tauri	3.41	12076	4.082	139	70	4h00.7	12°29
5		5.92	1168	3.067	195	97	4h09.0	13°24
9	$\pi$ Tauri	4.69	4138	3.617	314	138	4h26.6	14°43
10	$\rho$ Tauri	4.65	3680	3.566	363	144	4h33.8	14°51
11		5.26	2210	3.345	273	147	4h20.6	15°05
13	$\gamma$ Tauri	3.63	11238	4.051	266	162	4h19.8	15°37
14		4.49	6719	3.827	311	163	4h26.3	15°37
16		6.02	1260	3.100	347	171	4h31.9	15°51
18		4.78	4989	3.698	339	181	4h30.6	16°12
19		4.96	3713	3.570	324	185	4h28.4	16°21
21	$\alpha$ Tauri	0.86	109209	5.038	374	193	4h35.9	16°30

A partir de ces standards, on détermine la magnitude de tous les objets en calculant la droite des moindres carrés sur les couples de données (magnitude, log flux ). Ce calcul peut se faire tout simplement avec un logiciel du type tableur. La figure 5 montre le résultat du calcul sur les 12 objets retenus et on en déduit la relation 1

$$\text{magnitude} = -2.534 \log (\text{Flux} ) + 13.825 \quad \text{erreur commise} = 0.226 \quad (1)$$

qui est très proche de la relation théorique de définition de la magnitude apparente;

$$\text{magnitude} = -2.5 \log (\text{Flux} ) + \text{Cte}$$

En effet, le flux enregistré par la caméra CCD est une fonction linéaire du flux reçu par le récepteur. Ceci n'est plus vrai dans le cas des clichés photographiques et la relation magnitude, log (Flux ) peut être déterminée sous la forme de polynômes des moindres carrés du 3<sup>ème</sup> degré.

De même à partir des coordonnées ( $\alpha$  ,  $\delta$  ) des étoiles standards fournis par le catalogue, on peut établir les relations linéaires donnant les coordonnées astronomiques des objets en fonction des coordonnées image (figures 5 et 6):

$$\alpha_{mn} = 0.148 x_g + 220.237 \quad \text{erreur commise} = 0.183$$

$$\delta_{mn \text{ arc}} = 2.010 y_g + 607.230 \quad \text{erreur commise} = 3.159$$

A partir de cet exemple, d'autres travaux peuvent être imaginés : en rassemblant des clichés d'une même zone du ciel pris à des époques différentes, on peut après une analyse des objets contenus dans chaque cliché selon la procédure précédente, déterminer la courbe de luminosité d'objets variables tels des céphéides ou des RR Lyrae, calculer leur période par analyse de Fourier et en déduire leur magnitude absolue et une évaluation de leur distance.

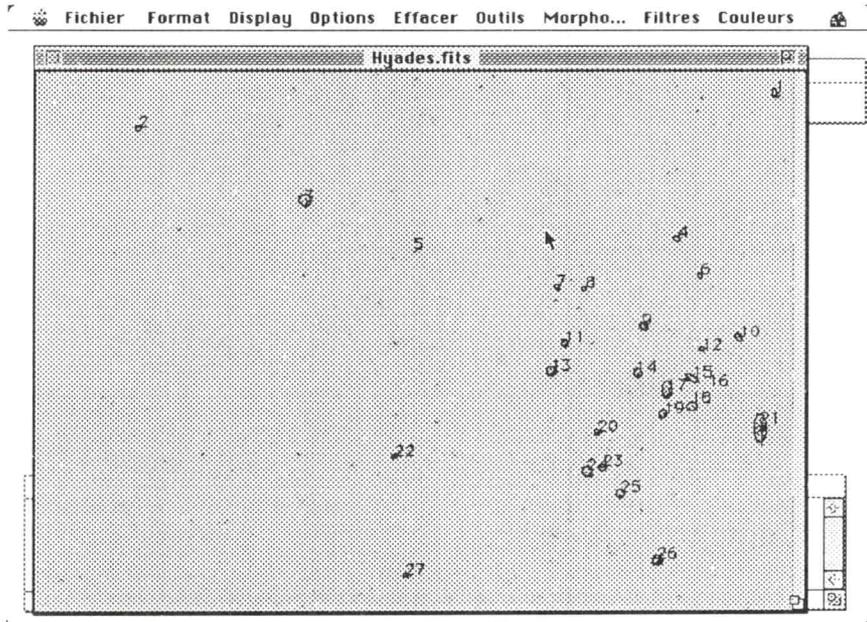


Figure 4

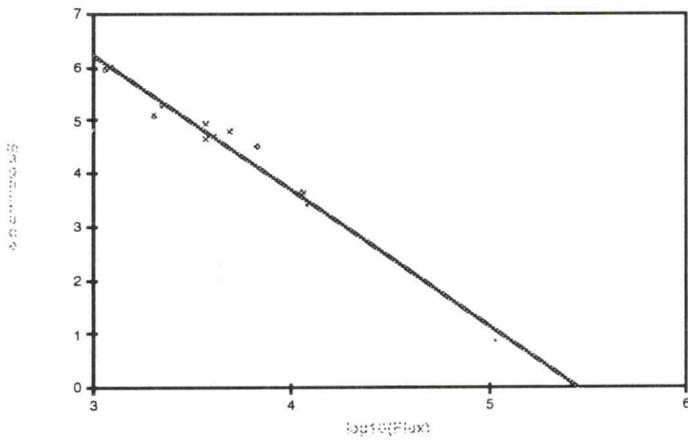


Figure 5

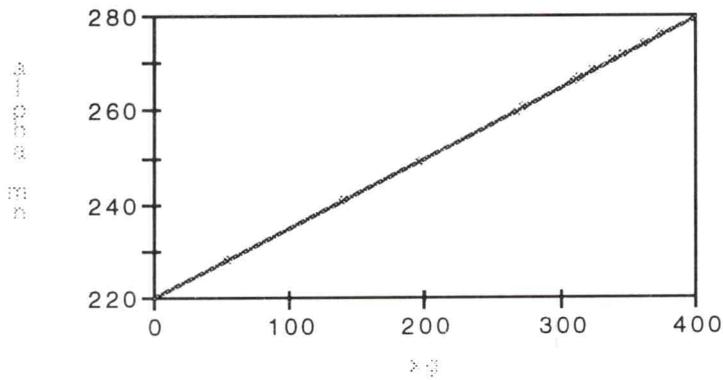


figure 6

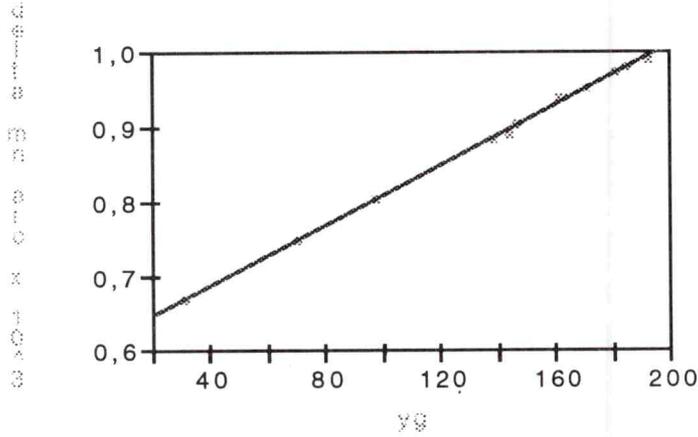


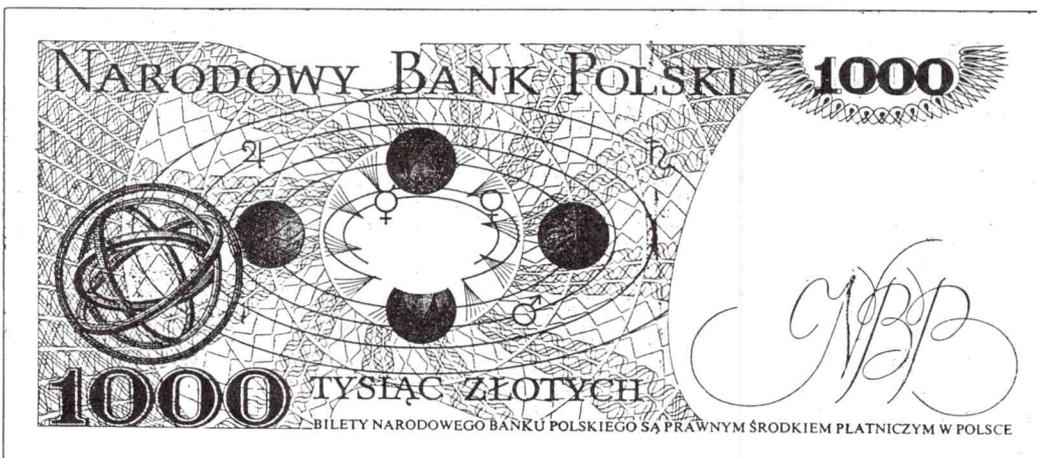
figure 7

### Comment se procurer MacVisual?

MacVisual nécessite pour fonctionner correctement un Mac avec un microprocesseur 68020 ou 68030 (Mac II, Mac LC ...), un écran 256 couleurs, 4Mo de mémoire RAM et une version du système 6.05 et au delà (système 7). Cette application appartient au Domaine Public (freeware), donc peut-être copiée et utilisée sans restrictions sauf pour usage commercial.

Pour en obtenir une version, envoyez-moi une disquette <sup>5</sup> en précisant si votre machine possède un coprocesseur arithmétique ou non. Les bugs non corrigés sont sans doute légion. Je vous serais reconnaissant de me les signaler ainsi que toutes les remarques et critiques que pourraient vous suggérer l'utilisation de MacVisual.

Souvenir d'un voyage en Pologne en 1992.



# A propos de la période julienne

Paul Perbost

## 1. Aspect historique et utilisation actuelle

Pour faciliter le calcul du nombre de jours écoulés entre deux époques, l'érudit français Joseph Scaliger (1540-1609) a proposé d'utiliser une période de 7980 années juliennes comme nouvelle échelle chronologique (*Opus novum de Emendatione Temporum*, 1583) que l'on nomme précisément période de Scaliger ou encore, selon l'usage des Ephémérides astronomiques actuelles, période julienne. Cette ère commence **arbitrairement** le lundi 1<sup>er</sup> janvier, à midi, de l'an 4713 avant J.-C., c'est à dire -4712 (puisque l'année 0 n'existe pas dans la chronologie ordinaire).

Elle se substituait avantageusement aux multiples et disparates systèmes chronologiques utilisés concurremment jusque là (les Olympiades, l'ère de la fondation de Rome, de Nabonassar, césarienne d'Antioche, actiaque, d'Espagne, d'Alexandrie, de Constantinople, de l'Hégire, etc...). On dit que Kepler goûtait beaucoup l'idée de Scaliger (Paul Couderc, **Le Calendrier**, Que sais-je? n°203, p.100). D'ailleurs l'astronomie moderne s'y réfère encore. En effet, "cette période où les jours sont numérotés de façon ininterrompue est utilisée pour dater les observations photométriques d'étoiles variables, les mesures des vitesses radiales des étoiles doubles spectroscopiques, et, d'une manière générale, toutes les observations se rapportant à des phénomènes pratiques à courte durée", quitte à exprimer les fractions de jour écoulées depuis le midi moyen de Greenwich en fractions décimales (cf A.Danjon, **Astronomie générale**, p.115). D'autre part, "le décompte des jours en date julienne est de plus en plus employé dans la vie courante (sous une forme modifiée) car il se prête bien à l'emploi dans les machines comptables. Aux Etats-Unis, en particulier, il est fréquent que les calendriers communs portent la date julienne, ou la date julienne modifiée par la soustraction de 2 400 000,5" (Guinot, **La mesure du temps**, Que sais-je ? N°97, p.122). L'Annuaire du Bureau des Longitudes indique d'ailleurs que l'usage du jour julien modifié (en anglais modified julian date, MJD), commode pour de nombreux besoins astronomiques, a été reconnu par l'Union Astronomique Internationale en 1973.

Tel auteur contemporain, qui n'est pas tendre envers "les astronomes de la vieille école, traditionnellement attachés aux J.J." (jours juliens), s'afflige de la survivance de la période julienne même sous sa forme modifiée, ce qui témoigne selon lui d'une grande "indigence d'esprit", tandis qu'il propose lui-même une notation qui n'est qu'un produit allégé, qui procède directement des élucubrations de Scaliger revues et corrigées. Son souhait vigoureux de substituer aux "dates juliennes" ce qu'il appelle "les numérants" à la place de "leur pauvre nom de MJD" ne renie pas, au fond, cette lointaine filiation. Enfin, déclare-t-il, "la période de Scaliger exhumée par Sir John Herschel (fils de William) en 1849 ne mérite que l'oubli" ; quant à "l'origine du 4712" dit-il encore, "elle est bien compliquée et nous n'en dirons rien". (Maurice Danloux-Dumesnils, **Eléments d'astronomie fondamentale**, éd Blanchard 1985, pp 102 et sq).

Laissons aux chronologistes le temps d'accorder leurs violons, fussent-ils d'Ingres. Mais, d'un autre point de vue, la dernière remarque de cet auteur critique, pose au moins un problème mathématique qui n'est pas dénué d'intérêt. Gauss lui-même n'a pas dédaigné de lui consacrer quelques lignes, à titre d'application de sa brillante théorie des congruences arithmétiques. Naturellement, son oeuvre magistrale se situe à une autre hauteur, bien qu'il

l'eût achevée avant ses vingt-cinq ans (**Recherches arithmétiques**, traduction française p.19, écrites d'abord en latin sous le titre **Disquisitiones Arithmeticae**, en 1802). Nous rechercherons donc "l'origine du 4712", malgré sa complexité, en utilisant uniquement la notation gaussienne des congruences.

## 2. Constitution de la période de Scaliger

Elle se fonde exclusivement sur la considération de trois éléments du comput julien : l'indiction, le nombre d'or et le cycle solaire. Sans nous attarder à définir ces éléments hétéroclites et encore bien moins sur les époques de leurs instaurations respectives, pour lesquelles les opinions des historiens de la chronologie divergent grandement, nous citerons quelques extraits d'un auteur du XVIII<sup>ème</sup> siècle sur ces questions passablement obscures. Les calculs qui suivent ne seront évidemment pas affectés par ces incertitudes historiques.

"On ne connaît pas bien l'origine des Indictions, ni pourquoi la révolution de leur cycle est fixée à 15 ans. Quelques auteurs en font remonter l'époque au temps de Constantin à l'an 312, d'autres plus tôt ou plus tard ; mais on n'a point de preuves... Selon la plus commune opinion, on a dû compter 1 d'indiction l'an 313 de J.-C.... D'après ce principe, la première année de notre ère doit répondre à la quatrième année du cycle des indictions" (p.172). Et selon le même auteur "la première année de notre ère avait 10 de cycle solaire et 2 de nombre d'or." (p.169) (M. de la Prise, **L'art de vérifier les dates, Principes et usages du comput** imprimé à Bayeux et se vend à Caen, MDCCLXXX)

En résumé, d'après ce document, en l'an 1 de notre ère (que par abus de langage nous appellerons l'an 1 après J.-C.), les nombres de comput considérés avaient pour valeurs : An 1 : a = 4 (Indiction) ; b = 2 (Nombre d'or) ; c = 10 (Cycle solaire)  
Nous retrouverons ci-après ces notations et ces valeurs.

## 3. Méthode de calcul de la période de Scaliger

### α) Données du problème

L'indiction, le nombre d'or et le cycle solaire ont des valeurs annuelles (que nous désignerons par a, b et c) se succédant à l'intérieur de trois cycles de périodes respectives :  $A = 15$  ;  $B = 19$  ;  $C = 28$  (notations de Gauss) exprimées en année juliennes. Ainsi :  $1 \leq a \leq 15$  ;  $1 \leq b \leq 19$  ;  $1 \leq c \leq 28$

Les nombres a, b et c figurent sur l'almanach du facteur, en bas de la colonne de février. Pour n'année 1993, par exemple, on y lit :  $a = 1$  ;  $b = 18$  ;  $c = 14$

### β) L'idée de Scaliger

Sur l'exemple précédent, aussibien que celui de M.de la Prise, on voit que les trois nombres annuels sont différents. D'autre part, pour 1993,  $a = 1$ , c'est à dire que cette année est le début d'un nouveau cycle d'indiction. On peut alors se demander s'il existe une année où les trois nombres sont simultanément égaux à 1 c'est à dire tels que  $a = b = c = 1$ .

Autrement dit, il s'agit de déterminer un millésime qui coïnciderait à la fois avec le commencement des trois cycles. On le prendrait alors pour origine d'une ère qui se reproduirait périodiquement dans un laps de temps à déterminer. Telle fut l'idée de Scaliger. On peut évidemment la trouver saugrenue, en raison de l'étrange assemblage d'éléments hétéroclites auxquels elle se réfère. Mais c'est un fait historique. Nous ne l'examinerons que sous son aspect mathématique, après avoir exposé les principes de la méthode de calcul utilisée.

### γ) Le théorème chinois

Il s'agit maintenant de situer l'origine de la période de Scaliger dans la numérotation ordinaire des années du calendrier et de fixer la durée de son cycle.

A cet effet, nous utiliserons une méthode de résolution d'un système de congruences arithmétiques, fondée sur un théorème que l'on démontre en théorie des nombres et que nous admettrons. Il est connu sous le nom de Théorème chinois. En voici l'énoncé :

"Si les nombres  $m_1, m_2, \dots, m_r$  sont premiers entre eux, les congruences simultanées

$$x \equiv a_1 \pmod{m_1}$$

$$x \equiv a_2 \pmod{m_2}$$

$$\dots\dots\dots$$
$$x \equiv a_r \pmod{m_r}$$

ont toujours une solution définie de manière unique, selon le module  $M = m_1 m_2 \dots m_r$ . Elle est donnée par la congruence

$$x \equiv a_1 b_1 \frac{M}{m_1} + a_2 b_2 \frac{M}{m_2} + \dots + a_r b_r \frac{M}{m_r} \pmod{M}$$

où les nombres  $b_1, b_2, \dots, b_r$ , sont

tels que

$$b_1 \frac{M}{m_1} \equiv 1 \pmod{m_1} ; b_2 \frac{M}{m_2} \equiv 1 \pmod{m_2} ; \dots ; b_r \frac{M}{m_r} \equiv 1 \pmod{m_r}$$

Selon Wright et Hardy, ce théorème était connu du mathématicien chinois Sun-Tsu, qui aurait vécu au premier siècle (An introduction to the theory of numbers, p.106), d'où son nom. Plus tôt encore, on trouve de tels problèmes chez Brahmagupta à propos de cycles planétaires. Les applications du théorème chinois vont bien au-delà de la chronologie (Cf Oystein Ore, Number Theory and its history). Ces auteurs donnent évidemment la démonstration détaillée du théorème.

## 4. Application du théorème chinois au problème de Scaliger

Puisque les trois cycles du comput se sont déroulés sans interruption dès l'origine de la période julienne, nous ne diminuerons pas la généralité du problème en prenant pour leurs valeurs respectives celles qui figurent dans les calendriers d'aujourd'hui. C'est ainsi que l'on trouve :

- a = 1 (Indiction), en 1993
- b = 1 (Nombre d'or), en 1976
- c = 1 (Cycle solaire), en 1980

Or, les restes des divisions de ces millésimes par 15, 19 et 28 sont respectivement 13, 0 et 20. D'où les congruences :

$$1993 \equiv 13 \equiv -2 \pmod{15}$$
$$1976 \equiv 0 \pmod{19}$$
$$1980 \equiv -8 \pmod{28}$$

Les trois modules, premiers entre eux, ont pour produit

$$M = 15 \times 19 \times 28 = 7980 ;$$

on a ensuite  $\frac{M}{15} = 532 ; \frac{M}{19} = 420 ; \frac{M}{28} = 285$

On détermine alors les nombres  $b_1, b_2, b_3$  tels que

$$532 b_1 \equiv 1 \pmod{15} ; 420 b_2 \equiv 1 \pmod{19} ; 285 b_3 \equiv 1 \pmod{28}$$

On trouve ainsi :  $b_1 = 13 ; b_2 = 10 ; b_3 = 17$

*(Le détail de la résolution de ces congruences figure en annexe)*

D'où, par application du théorème chinois :

$$x \equiv (-2) \times 13 \times 532 + (0) \times 10 \times 420 + (-8) \times 17 \times 285 \pmod{7980},$$

soit  $x \equiv - 52592 \pmod{7980}$

En cherchant enfin le reste de 52592 par 7980, qui est 4712 on arrive à

$$x \equiv - 4712 \pmod{7980} , \text{ soit } x = - 4712 + 7980 k$$

Pour  $k = 0$ , on a  $x = -4712$ , ce qui correspond à l'année 4713 avant J.-C. retenue par Scaliger. On voit, de plus, que la période de son ère est de 7980 années juliennes. L'ère recommencera en  $7980 - 4712 = 3268$  ; etc...

## Annexes

Résolution des équations auxiliaires :

$$532 b_1 \equiv 1 \pmod{15} ; 420 b_2 \equiv 1 \pmod{19} ; 285 b_3 \equiv 1 \pmod{28}$$

elles sont de la forme générale  $ax - by = 1$ , où  $a$  et  $b$  sont premiers entre eux (équation de Bachet de Méziriac dite aussi de Bezout). L'algorithme d'Euclide, et celui des fractions continuées qui en découle, donne systématiquement la solution.

a)  $532 b_1 \equiv 1 \pmod{15}$  équivaut à  $532b_1 - 15y = 1$

Or, l'algorithme d'Euclide donne :  $532 = 15 \times 35 + 7$   
 $15 = 7 \times 2 + 1$   
 $7 = 1 \times 7$

d'où les réduites

		35	2	7	
0	1	..	35	71	532
1	0	..	1	2	15

L'avant dernière réduite donne la solution particulière  $b_0 = -2$  et  $y_0 = -71$  ; en effet

$$532(-2) - 15(-71) = -1064 + 1065 = 1$$

On en déduit :  $b = -2 + 15k$  qui pour  $k = 1$  donne  $b_1 = 13$

b)  $420b_2 \equiv 1 \pmod{19}$  ; on trouve de même  $b_2 = 10$

c)  $285b_3 \equiv 1 \pmod{28}$  ; on trouve de même  $b_3 = 17$

(Cf Jean Itard, **Arithmétique et théorie des nombres**, coll. Que sais-je ? 1093, chap V)

### COMPLEMENTS

1°) Les valeurs du comput pour l'an 1 de notre ère, selon M de la Prise,  $a = 4$ ,  $b = 2$ ,  $c = 10$  conduisent aux conséquences que  $a = 1$  en l'an 13, or  $13 \equiv -2 \pmod{15}$  ;  $b = 1$  en l'an 19, or  $19 \equiv 0 \pmod{19}$  ;  $c = 1$  en l'an 20, or  $20 \equiv -8 \pmod{28}$ .

On arrive au même système que ci-dessus :

$$x \equiv -2 \pmod{15} \text{ et } x \equiv 0 \pmod{19} \text{ et } x \equiv -8 \pmod{28}$$

2°) J-Parisot et F.Suagher dans **Calendriers et Chronologie**, p.58, disent que Scaliger est parti des données suivantes :

$a = 1$  en 3 avant J.-C. c'est à dire en l'an -2

$b = 1$  en 532 (congru à 0 mod 19)

$c = 1$  en 1560 (congru à -8 mod 28)

On retrouve le même système de congruences, mais leurs calculs, quoique non explicités, sont plus courts que ceux qui précèdent.

---

## Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

**Les Comètes** par André Brahic ; collection "Que sais-je? n°1236 ; éd PUF 1993

Sous le même titre et le même numéro de collection, Jean Dufay nous avait donné en 1966 l'état des connaissances sur ce sujet à cette époque. Notre ami André Brahic renouvelle notre information en traitant le sujet à sa façon. Sous le volume obligé des 128 pages des volumes de la collection, il réussit à accumuler une documentation d'une rare richesse et, comme on sait, il a l'art de rendre plaisante l'étude la plus sérieuse.

En comparant les plans suivis respectivement par Dufay et Brahic, on perçoit des approches différentes par des personnalités qui ne le sont pas moins et, bien sûr, la marque de l'évolution des recherches sur un sujet qui, il y a trente ans, était un peu marginal, tandis que, pour André Brahic, il est au coeur même des sujets brûlants d'actualité. Ce qui ne l'empêche pas de commencer par nous rappeler les vieilles croyances sur les comètes et sur les maléficaes qu'elles étaient supposées annoncer. Il a plaisir à rappeler ce mot de Gassendi : "*les comètes sont réellement effrayantes, mais par notre sottise*" et à citer la Marquise de Sévigné qui comme toujours savait trouver le mot juste pour caractériser les attributs de la comète de 1661.

Mouvement des comètes, identification, dénomination : là où Dufay prenait tout son temps, Brahic résume heureusement l'essentiel en soulignant l'importance des découvertes de 1950-51 : nuage de Oort (d'où viennent les comètes), le noyau de la comète est comme une boule de neige sale (Whipple), le flux de gaz qu'elle émet est poussé par le vent solaire (Biermann). On comprend tout de suite que Brahic est passionné par les apports de l'exploration spatiale et la construction progressive qui devient possible d'une physique complète des comètes. Avec des aperçus particulièrement suggestifs : "*Il est maintenant urgent d'aller chercher des grains de poussière au sein des noyaux cométaires afin de les analyser... Une page d'histoire d'il y a 4,6 milliards d'années ou plus sera alors révélée.*"

A la fin du livre, un chapitre sur la comète de Halley, son passage de 1986 et ce qu'il nous a appris, puis sur des comètes particulières. Et enfin la liste des comètes périodiques, ce qui sera toujours utile aux astronomes amateurs.

André Brahic souhaite que son livre soit rapidement démodé en raison des découvertes à venir. Nous apprécions et partageons (sans le diminuer) son enthousiasme. Regrettons cependant la politique de l'éditeur qui fait que les comètes-Brahic de 1993 éliminent définitivement les comètes-Dufay de 1966. Pour pallier ce mépris injustifié, je conseillerai à nos lecteurs de faire collection des "Que sais-je?" considérés comme démodés. Ce sera très instructif, car ici en particulier comme le dit Brahic : "*L'étude des comètes est exemplaire des progrès de l'histoire de l'humanité.*"

G.W.

**Le rêve des physiciens** par Jean-Pierre Pharabod et Bernard Spire ; 300 pages ; édition Odile Jacob 1993 (140 F)

Le rêve des physiciens, c'est bien sûr l'unité, et plus particulièrement en cette fin du XXème siècle, l'unification des quatre forces fondamentales. Qu'on ne s'y trompe pas ! malgré une apparente fantaisie, titres de chapitres racoleurs, digressions souvent gratuites, et même quelques bandes dessinées, cet ouvrage est très sérieux. Il possède deux qualités principales : l'exposé est d'une grande clarté et les auteurs ne se dérobent pas devant les problèmes ardues - par exemple l'interaction faible éludée par la plupart des autres livres de vulgarisation.

Un premier chapitre très attrayant nous montre les physiciens à l'oeuvre au cours de l'histoire et plante le décor de la science contemporaine. Puis, avant de nous entraîner

vers les sommets vertigineux de l'abstraction, les auteurs se proposent de nous familiariser avec les concepts difficiles sur des exemples accessibles à notre faible imagination. La quantification du champ avec des bosons messagers est d'abord présentée dans le cadre de l'interaction électromagnétique avant d'être étendue aux autres champs. L'étude de l'invariance des lois physiques dans certaines transformations, fil conducteur de l'élaboration des théories des forces, commence par l'idée concrète de l'invariance par réflexion dans un miroir, elle se poursuit par généralisation jusqu'au très abstraites symétries internes, ce qui demande un certain effort au lecteur !

Cependant, une large place est faite à la description des expériences qui testent la validité des théories. Les auteurs nous racontent avec vivacité les tâtonnements et les enjeux, l'ingéniosité et la patience des chercheurs qui trouvent une aiguille dans une botte de foin. Mais les énergies demandées dans les expériences sont de plus en plus grandes et les accélérateurs de particules s'essoufflent. Où donc trouver l'unité ? Peut-être juste après le *big bang* dans l'Univers primitif où les quatre forces étaient groupées, puis c'est au cours de l'évolution, par des ruptures successives de symétrie qu'est apparue l'irritante diversité de particules que l'on observe maintenant.

Ce livre a le mérite de nous faire approcher sans aucun calcul ces théories qui sont essentiellement mathématiques et qui, miraculeusement, débouchent sur des expériences concrètes. Rêveurs les physiciens ? Mais aussi réalistes !

Annie Laval

**Galilée critique d'art** par Erwin Panofsky, traduit de l'anglais par Nathalie Heinrich ; 117 pages ; Edition Les Impressions nouvelles 1993 (89 F)

"Un admirable travail" avait dit Alexandre Koyré dès 1955 dans un article de *Critique*. Le compliment n'est pas de pure forme car cet opuscule d'Erwin Panofsky, publié pour la première fois à La Haye en 1954, est un petit chef d'oeuvre d'enquête historique.

D'ordinaire, il faut l'avouer, l'érudition de l'historien d'art américain est si vaste et si variée qu'il n'est pas toujours facile de voir où il veut en venir. Ici, Panofsky résout en quelques pages, avec des données biographiques et stylistiques peu contestables, une question notoirement difficile de l'histoire des idées, un paradoxe irritant de l'histoire des sciences, ce qui n'est pas sans portée philosophique.

"Galilée et les arts..." L'approche peut paraître marginale, tant le savant florentin doit l'essentiel de sa gloire à ses travaux d'astronomie et de physique et son conflit humiliant avec l'Inquisition en 1633. Panofsky rappelle cependant qu'il a grandi dans un milieu humaniste, tourné vers les arts – son père fut un théoricien de la musique – et qu'il a gardé des liens étroits avec certains peintres de son temps comme son ami Ludovico Cardi, le Cigoli (1559–1613), qui lui a rendu hommage en peignant dans une *Assomption* de Santa Maria Maggiore, à Florence, la Lune et ses cratères comme il les avait lui-même montrés au télescope. C'est à ce titre qu'à la demande du peintre, dans une longue lettre de juin 1612, Galilée prend position dans la controverse classique sur les mérites respectifs de la peinture et de la sculpture – ce qu'on appelle depuis l'enquête de Varchi le *Paragone* – et se prononce, comme Léonard de Vinci un siècle plus tôt, en faveur de la supériorité de la peinture. Il manifeste ainsi une certaine attitude intellectuelle – caractérisée par l'esprit de distinction, de séparation, de clarté – qui se retrouve dans ses jugements littéraires. Si Galilée est un lecteur enthousiaste de l'*Orlando Furioso* d'Arioste, il n'épargne pas ses critiques à l'encontre de la *Jérusalem libérée* du Tasse que, dans ses *Considerazioni al Tasso*, il compare à une marqueterie qui n'a pas les contours fluides et fondus de la peinture à l'huile. Le goût classicisant de Galilée pour la clarté et la distinction se révèle encore lorsqu'il rejette les formes allégoriques, obliques et allusives de poésie, qu'il compare dans un passage étonnant aux cabinets de curiosités et au procédé de l'anamorphose dont on trouve dans *Les Ambassadeurs* d'Holbein (1533) un exemple aussi mystérieux que macabre.

Ces préférences esthétiques de Galilée ne relèvent pas seulement du goût individuel.

Elles sont la marque d'une génération. Panofsky montre en effet – en partie contre Wölfflin – que le savant florentin participe d'une révolte générale contre les tendances maniéristes qui avaient dominé la seconde partie du XVI<sup>ème</sup> siècle. Galilée est ainsi conduit tout naturellement à retrouver par-delà le maniérisme certaines conceptions de l'époque antérieure, l'esthétique plus rationaliste et plus classique de la première moitié du XVI<sup>ème</sup> siècle, c'est à dire dans les termes de Wölfflin, de la Renaissance.

Le goût "classique" de Galilée et de ses amis peintres a-t-il une importance, se demandera-t-on ? Oui, parce qu'il permet à Panofsky de résoudre une énigme bien connue de l'histoire des sciences : pourquoi, dans son *Dialogue sur les plus grands systèmes du monde* de 1632, qui est une défense de la conception copernicienne (héliocentrique), Galilée ne fait-il pas mention des observations et des lois de Kepler qui viennent de confirmer cette hypothèse en montrant que les planètes tournent autour du Soleil selon une orbite elliptique ? Cette omission est d'autant plus déconcertante que, Panofsky le prouve, Galilée avait eu connaissance de ces lois au moins par une lettre de Frederico Cesi, son collègue de l'Academia dei Lincei. Koyré, il le rappelle dans son article, avait tenté d'expliquer ce refus de tenir compte des découvertes mathématiques de Kepler, qui datent des premières années du XVII<sup>ème</sup> siècle, par les caractéristiques mêmes de l'ouvrage de Galilée, écrit en italien pour l'honnête homme, une oeuvre de combat, nécessairement simplificatrice, et qui peut à bon droit négliger des subtilités techniques. Mais l'argumentation est faible et Koyré reconnaît la force de la thèse de Panofsky.

Celle-ci consiste à dire que Galilée a refusé d'admettre les orbites elliptiques de Kepler par attachement à l'idée esthétique et philosophique que le cercle seul est parfait. Cette "hantise du cercle", qui le conduit à refuser les ellipses – considérées comme des cercles déformés, "anamorphosés" –, relève bien de l'esthétique classique et du principe de distinction et de clarté. Aux yeux de Galilée, l'astronomie de Kepler est en réalité une astronomie maniériste, "dynamique", c'est à dire encore entachée de magie, de numérologie et d'animisme, toujours marquée par les tentations symbolistes, anthropomorphistes, de l'ancienne science.

### Une leçon et une morale

Comme l'observe Koyré, "les voies de la pensée humaine sont curieuses, imprévisibles, illogiques". Les goûts de Galilée "critique d'art" montrent l'existence chez lui d'un certain nombre de principes, ou de préjugés, d'ordre à la fois scientifique et esthétique, qui ont eu un rôle positif, voire déterminant, dans ses découvertes scientifiques – qu'il s'agisse de la loi d'inertie ou de l'observation de la Lune – mais qui, en même temps ont fait obstacle lorsqu'il s'est agi pour lui d'admettre des données et des lois exactes mais relevant d'une autre attitude esthétique. Le même souci cartésien de clarté et de distinction qui conduit Galilée à voir dans la géométrie la clé du livre de la nature et à effacer la frontière ontologique entre les figures géométriques et les corps matériels, l'empêche également d'accepter des vérités dont la généalogie intellectuelle est différente. La belle démonstration de Panofsky contient donc une leçon et une morale : jamais la vérité – fût-ce la première des lois de la physique – n'est reçue par sa seule évidence, sans une part d'ombre, ou d'impureté, et il est illusoire de vouloir tracer entre attitudes esthétiques et convictions scientifiques une démarcation stricte. Le petit essai rigoureux de Panofsky, sous une apparence modeste, est une réfutation, par les faits et l'argumentation, du positivisme, c'est à dire une autoréfutation du positivisme, ce qui, on peut le noter, est assez dans l'esprit *philosophique* des années cinquante.

Jean Lacoste

N.-B. Cette traduction a déjà été publiée dans les *Actes de la recherche* (mars 1987), mais elle s'accompagne ici de tout un intéressant dossier (la lettre de Galilée, la recension de Koyré, etc.) rassemblé par les soins de Nathalie Heinich.

**Comment créer le monde** par Peter W. Atkins, traduit de l'anglais par Nicolas Witkowski  
éd Seuil 1993 (110 F)

Un livre déconcertant jusque dans son ton. Jusque dans sa brièveté, – étonnante sur un tel sujet –, car sur ses 200 pages, seules celles de droite nous donnent le discours de l'auteur, les pages de gauche étant partiellement utilisées à donner de façon impersonnelle (style dictionnaire) des compléments d'information pouvant éclairer le texte lui-même.

C'est donc au discours même, pages de droite, qu'il fait réserver notre attention. Atkins nous prévient, son livre est un essai de réductionnisme extrême et de rationalisme militant, il annonce tout de suite la couleur, comme on dit. Ce texte provient d'une conférence donnée dans un Collège d'une université de Californie. Le style, parfois désinvolte et qui a du séduire le traducteur, était sans doute très adapté à l'auditoire, surtout si l'orateur, par sa présence physique et son talent oratoire, on l'imagine, avait vite fait d'entraîner ceux qui l'écoutaient dans son sillage. Atkins enseigne la chimie à l'Université d'Oxford, mais ses travaux sur la thermodynamique et sur le chaos l'ont amené à une conception très globale de la science, ce qui est bon pour un vulgarisateur.

Dans son livre actuel, **Comment créer le monde**, sans point d'interrogation, il nous présente en sept étapes comment, selon lui, un créateur "infiniment paresseux" s'y serait pris pour créer le monde. Tellement paresseux que son intervention, donc son existence, devient superflue. Il est évident que s'il n'a rien ou presque rien à faire, on ne voit pas pourquoi on ferait de l'existence de ce créateur toute une histoire. Et paresseux comme chacun de nous peut l'être, pourquoi ne serions-nous pas à notre tour créateur du monde ?

Atkins sait bien qu'il ne parviendra pas à convaincre ceux pour qui la présence agissante d'un Créateur majuscule est une affirmation nécessaire, un acte de foi. Au moins veut-il leur montrer – mais le liront-ils ? – que la science est d'une extraordinaire pénétration. Il a "*la conviction que toute chose peut être comprise*", d'autant, ajoute-t-il, "*qu'au bout du compte, il n'y a rien à expliquer*". Je cite à dessein cette remarque lâchée en passant comme si Atkins voulait aussi suggérer qu'il ne prend pas toujours son propre discours au sérieux.

Quant au réductionnisme extrême, qui peut se comprendre comme une forme de matérialisme, il s'appuie aussi sur la conviction que la nature n'est pas aussi complexe qu'elle le paraît. En tête de son livre et de manière très anglaise, Atkins place une judicieuse citation d'Isaac Newton tirée de ses **Principia** : "*Car la nature aime la simplicité et ne s'embarrasse pas de causes superflues*". Pour un vulgarisateur, ce peut être aussi un bon principe d'écriture.

Dans le cas présent, notre chimiste ne nous parle pas en chimiste mais au nom du plus élémentaire bon sens. Une certaine naïveté de style n'est pas sans charme. Il écrit : "*Les atomes sont très gros : ils doivent l'être parce qu'ils contiennent beaucoup de choses*". Le plus drôle, c'est que ce n'est pas seulement charmant, c'est vrai, il y a beaucoup de choses dans l'atome. La manière a pourtant ses limites. Vouloir présenter toute la physique, la newtonienne comme la quantique, sans aucun recours aux mathématiques, c'est se condamner à jouer des analogies. Quand l'espace-temps est affecté d'une courbure, Atkins nous dit que les droites y sont courbées (?), c'est sur la page de gauche que le mot de géodésique peut paraître avec sa définition. Comme tous les physiciens, il sait pourtant bien que certains concepts mathématiques sont mieux adaptés que certains mots à traduire les réalités physiques mais il a décidé au départ de s'en passer et s'y tient. Il est vrai que dans la chaleur communicative d'une conférence on peut s'abandonner aux facilités de l'éloquence. A l'écrit cela passe moins bien...

Ai-je mal lu le livre, mal reçu l'éloquent exposé ? Alors que je m'engageais dans cette lecture avec un a-priori favorable, j'ai craint ensuite de me laisser entraîner par un discours habile, peut-être trop habile...

G.W.

**Le procès des étoiles** par Florence Trystram ; petite bibliothèque Voyages, 413 p. ; édition Payot 1993 (45 F)

La Petite Bibliothèque Payot nous propose la réédition du "Récit de la prestigieuse expédition de trois savants français en Amérique du Sud et les aventures qui s'ensuivent, 1735-1777". Cette expédition, organisée par l'Académie Royale des Sciences, avait pour but de mesurer un arc du méridien terrestre au voisinage de l'équateur. Le résultat, comparé à celui d'une mesure semblable que l'on irait faire sur le cercle polaire, permettrait de préciser la forme de la Terre. Rien de plus simple en effet... sur le papier ! Mais les contrées traversées par l'équateur ne sont guère hospitalières aussi, malgré l'éloignement, choisit-on la région de Quito, alors colonie espagnole et où par conséquent "l'ordre européen" régnait. Les péripéties furent nombreuses, pittoresques ou dramatiques ; après avoir échappé aux périls de la mer, surmonté l'hostilité de l'environnement, l'expédition sera frappée par un mal plus profond : la zizanie entre ses membres, nullement préparés à oeuvrer ensemble.

Et la mission géodésique dans tout cela ? Ce sera l'ardeur scientifique qui permettra à ces hommes de conserver leur dignité ; dans les moments de désespoir, les mesures à effectuer resteront leur raison de vivre. Et c'est une belle leçon de science expérimentale que cet acharnement, dans des conditions parfois inhumaines, à recommencer et recommencer encore chaque mesure pour améliorer la précision. Peut-être les hommages légitimement rendus aux grands théoriciens qui ont fait avancer la science occultent-ils un peu trop les mérites de la foule de ces "mesureurs" acharnés et minutieux sans lesquels rien n'aurait été possible.

Voici un passionnant récit de voyage, de découverte de pays fabuleux sous le regard émerveillé de ces savants du siècle des lumières et d'un travail scientifique mené avec une méthode et une rigueur admirables dans un contexte bien éloigné de la quiétude des laboratoires. Dans le même registre, signalons "**La Méridienne** (1792-1799), ou comment Jean-Baptiste Delambre et Pierre Méchain traversant la France révolutionnaire à la rencontre l'un de l'autre parvinrent à définir un nouvel étalon universel : le mètre" par Denis Guedj (édition Seghers). Ces deux livres pourraient être recommandés à des élèves de lycée et faire l'objet d'un travail en classe (éventuellement avec l'aide de l'article "*Les origines du système métrique décimal*" par Michel Toulmonde, paru dans le n°46 des **Cahiers Clairaut**).

A.L.

**Regards sur la matière** - Des quanta et des choses - par Etienne Klein et Bernard d'Espagnat ; collection "Le temps des sciences", 312 p. ; éd Fayard 1993 (145 F)

A propos de l'exploration par les physiciens du monde atomique et subatomique, on peut sans doute dire ce qui a toujours été dit à propos des explorations et des explorateurs : ceux-ci ne sont-ils pas aussi des aventuriers, certains esprits ne s'avancent-ils pas un peu trop dans des conceptions si hardies que nous autres, qui ne sommes ni explorateurs ni aventuriers, nous nous essoufflons à les suivre ? J'écris ces lignes le 14 juillet ; je pense à ces bons bourgeois démocrates qui du fond de leurs fauteuils regardent la télévision et pensent que les prolétaires qui envahissaient les Tuileries de Louis XVI avaient mauvais genre. Pour qu'un jour la démocratie commence à fonctionner -et elle a des progrès à faire - fallait-il, historiquement, en passer par ces révoltes et ces luttes sanglantes ? Pour que la physique quantique s'établisse parmi les bonnes-théories-qui-fonctionnent, fallait-il, historiquement, que des aventuriers du genre Bohr ou Louis de Broglie formulent des énoncés qui paraissent en eux-mêmes contradictoires ?

Ayant lu le livre d'Etienne Klein et Bernard d'Espagnat, je me posais ces questions. Sont-elles aussi saugrenues qu'elles vont le paraître aux physiciens avertis pour qui le quantique est devenu leur domaine comme à l'enfant de sept ans sa langue maternelle. Vis à vis du quantique, je n'ai pas encore l'âge de raison, je suis donc curieux, ignorant, maladroit. Curieux surtout.

Venons-en enfin au livre de Klein et d'Espagnat. Un livre dialogue, en somme : huit chapitres de Klein dans la première partie, huit autres dans celle d'Espagnat avec des redites qui permettent un réexamen des questions aussi délicates que la notion de non-séparabilité par exemple. Ces redites ne sont donc pas un défaut de composition mais une aubaine pour le lecteur, une aubaine très instructive.

Etienne Klein qui enseigne le quantique à l'Ecole Centrale a d'indéniables qualités pédagogiques. Je retiens cette remarque (p.99) qui dit beaucoup en peu de mots : "*Retenons que la physique quantique ne vise pas la réalité elle-même, mais plutôt notre interaction avec elle. Son objet est de dire ce que nous pouvons dire de la nature, non ce qu'est la nature*". Klein parvient à rendre compréhensible le débat Bohr-Einstein : principe de séparabilité d'Einstein (deux événements si lointains dans l'espace et si rapprochés dans le temps que la lumière n'a pas le temps de les relier) et expériences d'Aspect qui établissent l'existence de systèmes non séparables.

Bernard d'Espagnat revient longuement sur ce sujet qui, comme on sait, lui tient à coeur. Physicien amoureux de philosophie, il condamne la stupide scission entre les deux domaines de réflexion. Il plaide longuement pour sa philosophie de la physique et là, je pense que son livre intéressera plus les physiciens que l'ignorant que je suis. Il me persuade pourtant qu'une fois acquises des bases sérieuses du quantique, j'aurai avantage à reprendre ses méditations philosophiques.

En fin de volume, dialogue plus serré entre les deux Auteurs sur des questions qui ne sont pas accessoires. Je retiens particulièrement une réponse de Klein à propos du "modèle de Bohr" : "*On pourrait mettre en pratique... ce que j'appellerais volontiers une pédagogie négative...c'est à dire commencer par le présenter tel qu'il est, puis recenser par une critique serrée tous ceux de ses aspects qui ne résistent pas à cette critique. Très vite on s'aperçoit alors que l'image première est détruite, et que ce qui en reste est très exactement l'atome tel que vu par la physique contemporaine.*" (p284) Je vous le répète, ce livre fait réfléchir, il gagne à être relu.

G.W.

**Et pourtant, elle tourne !** - Le mouvement de la Terre - par Jacques Gapaillard ; collection "science ouverte", 354 p. ; éd Seuil 1993 (149 F)

Cette collection nous avait déjà ravis avec plusieurs bons livres d'astronomie ; j'avais fort apprécié, en 1990, **Le Noir de la Nuit**, où Edward Harrison clarifie (et résout, peut-être) l'énigme appelée à tort "paradoxe d'Olbers", et en montre toute l'importance historique et contemporaine.

Avec davantage encore d'accessibilité, et autant de talent pédagogiques, Jacques Gapaillard donne une histoire et une discussion passionnantes des "systèmes du monde" et de notre immobilité perdue au centre de l'Univers. Irréprochable de rigueur scientifique - malgré le peu de place occupé par les formules - cet ouvrage l'est aussi par la précision de sa riche documentation historique, le tout présenté de façon structurée et limpide.

L'évanescence du mouvement absolu - malgré la quête renouvelée qui en a été faite, de Philolaos à Newton et à Michelson - est une idée maîtresse du livre, soit quand il nous montre avec quelle facilité les épicycles et les déférents sont interchangeable avec les cercles héliocentriques de Copernic, soit quand les "preuves expérimentales" telles que l'aberration stellaire et le pendule de Foucault sont données en insistant sur leurs limites, et en termes de mouvement relatif. Cette démarche a l'avantage de rafraîchir le propos sur les géocentristes, qui obtiennent (et méritent) plus d'indulgence, d'intérêt et même d'admiration qu'on ne les en gratifie d'ordinaire. Tout cela s'appliquant bien sûr aux anciens, plutôt qu'à ces anticoperniciens attardés qui, jusqu'en notre siècle, nient l'héliocentrisme avec une véhémence que l'auteur raconte fort plaisamment, dans son style impeccable mais vif et coloré, qui ôte toute aridité à son texte.

Outre les astronomes, les physiciens et les historiens, un large public cultivé devrait être conquis par ce livre. Sur les rayons de Sciences de nos librairies, si diversement fournis et parfois encombrés de plus de clinquant que de compétence, c'est un bonheur que de découvrir des livres d'une qualité pareille.

René Dumont

--- Une preuve que ce livre est passionnant : nous avons reçu deux comptes rendus qui le confirment et comme ils se complètent, nous les publions tous les deux.

En ouvrant ce livre, j'avais un peu peur de m'ennuyer : le mouvement de la Terre, sujet bien rebattu n'est-ce pas ? Eh bien, il faut se méfier des a-priori de ce genre. Jacques Gapaillard qui enseigne les mathématiques à l'Université de Nantes et qui est chercheur associé au Laboratoire (CNRS) d'Histoire des Sciences et des Techniques a eu la bonne idée de reprendre le problème des mouvements de la Terre depuis que les astronomes, les géographes, les géomètres, les physiciens et les philosophes en débattent. Ce qui nous vaut un livre passionnant d'histoire des sciences qui sera une mine inépuisable de bonnes idées pour tous les enseignants soucieux de donner à leur élèves une image vraiment culturelle de la science.

Il faut dire que le problème du mouvement (donc des mouvements) de la Terre est exemplaire des grandes questions que la science s'est posée. Car elle dépasse le sens commun. Pour celui-ci, pas de question, comme disait le père de Coluche, "jambes longues ou jambes courtes, il faut toujours avoir les pieds sur terre !" Et c'est vrai que toutes les apparences le confirment, la Terre est immobile, le ciel étoilé, le Soleil et la Lune tournent autour. Il faut vraiment que les chercheurs aiment les problèmes difficiles pour inventer ces modèles d'Univers plus ou moins complexes dans le but de "sauver les phénomènes", de rendre compte aussi exactement que possibles des faits observés. C'est à ces chercheurs que nous devons la conception du monde qui est la nôtre mais qui porte la marque, ne l'oublions pas, des grands esprits qui ont pendant des siècles disputé du sujet et qui vont de Thalès à Lorentz-Einstein-Poincaré. Pensez, il a fallu partir de l'idée que le mouvement apparent du ciel est le type même du mouvement absolu (sous-entendu par rapport à la Terre), pour acquérir, non sans mal, la notion de la relativité des mouvements (salut Galilée !) et aboutir enfin à l'assurance que l'expression mouvement absolu n'a pas plus de sens qu'espace absolu et temps absolu (merci LEP, Lorentz-Einstein-Poincaré). Autant dire : deux cents ans après 1789, l'absolutisme a vécu. Et pour en revenir au livre de Gapaillard, à partir de la question du mouvement de la Terre, vous y retrouvez l'essentiel de l'histoire de l'astronomie fondamentale et de la mécanique.

J'y glane quelques exemples remarquables. Dès l'introduction Gapaillard dénonce l'idée fautive très répandue selon laquelle Copernic démontrerait le mouvement de la Terre (Cf manuel d'Isaac ou même Lucien Febvre) ; non, il "sauve les phénomènes" mais n'apporte aucune preuve (p.31). Le système des sphères homocentriques d'Eudoxe, on en parle trop souvent sans préciser sa construction ; ici, l'Auteur nous le décrit en détail, schéma très clair à l'appui (p.57-60). Plus loin, l'analyse du système de Ptolémée est poussée jusqu'à la construction des épicycles et des déférents.

Mais notre Auteur est visiblement plus attiré par tout ce qui touche, dans l'affaire, aux principes de la mécanique. D'où l'intérêt particulier du chapitre sur le pendule de Foucault. L'expérience à grand spectacle - le Panthéon, vous pensez, c'est mieux que la télé - n'en méprisons pas la valeur. Mais là encore, c'est vrai qu'elle ne prouve rien (en quoi la rotation du plan d'oscillation du pendule a-t-elle plus de valeur probante que l'apparente et visible rotation de la sphère céleste ?). Il faudra en arriver à la grande critique des principes qui suivra fatalement l'expérience de Michelson-Morley. Tout le chapitre final du livre, la mécanique et le mouvement de la Terre est à lire et relire attentivement. Poincaré nous donne la conclusion : "L'espace absolu, c'est à dire le repère auquel il faudrait rapporter la Terre pour savoir si elle tourne n'a aucune existence objective... Ces deux propositions *la Terre tourne et il est plus commode de supposer que la Terre tourne* ont un seul et même sens ; il n'y a rien de plus dans l'une que dans l'autre."

K.Mizar

P.S. Je reviendrai, une autre fois sur certains passages de ce livre, en particulier sur les mesures d'Aristarque.

L'Astronomie – La Terre et les astres par Jean-Michel Rolando ; 120 pages. Edition CDDP de Haute-Savoie (2 rue des Aravis, 74000 Annecy) 1993 (100 F)

Notre Collègue Rolando, professeur à l'IUFM de Haute-Savoie, propose comptes rendus et réflexions sur l'enseignement de l'astronomie à des jeunes enfants dans l'esprit des activités du groupe Ciel des CEMEA.

Le temps des sciences , Interfaces n°6 ; 224 pages ; édition CRDP de Paris.

Sous la direction de Jean-Yves Daniel, des contributions de H.Barreau – *le temps en épistémologie*, A.Bousquet – *le physicien et le temps* , N.Deruelle – *le temps en relativité* , A.Schaaf – *le temps en géologie* , J.Lancelot – *le temps en géosciences*, L.Gouguenheim et G.Walusinski – *le temps en astronomie* , F.Badiou – *cadran solaire et calendrier en mathématiques* , B.Guinot – *le temps des horloges* , F.Badiou – *le temps en mathématiques*.

Huitième rencontre de l'APLF – 8 et 9 mai 1993 à St Etienne.

Plus de 120 pages sur les activités des planétariums de langue française. La Présidente de l'APLF, Agnès Acker veille activement à accroître la qualité scientifique et technique des présentations des planétariums pour une sérieuse vulgarisation scientifique.

La conquête du ciel – Catalogue des médailles éditées par la Monnaie de Paris sur l'aéronautique (65 médailles) et sur l'exploration du cosmos (14 médailles).

#### DANS LES REVUES

L'Astronomie – Juin 1993. Un dossier très complet sur les pollutions du ciel et ce qu'en pensent les astronomes. Sur le sujet, on consultera aussi avec profit : "The protection of astronomical and geographical sites" par Jean Kovalevsky (209 pages ; éd Frontières à Gif sur Yvette).

Pour la science – Juin 1993 : "Loi et ordre dans l'Univers : le théorème KAM" par Barbara B.Hubbard et John Hubbard (KAM our Kolmogorov, Arnold et Moser).

Juillet 1993 : "La frontière noyau-manteau" par Raymond Jeanloz et Thorne Lay ; "Paul Dirac et la beauté de la physique" par Corby Hovis et Helge Kragh.

La Recherche – Juin 1993 : "L'eau du manteau terrestre" par Philippe Gillet ; "Les métamorphoses des galaxies" par Philippe Amram ; "Un micro-quasar au coeur de la Voie Lactée ?" par I.Félix Mirabel. Juillet 1993 : "L'hélium, un liquide exemplaire" par Sébastien Balibar ; "Plein gaz pour les galaxies en fusion" par Fabienne Casoli et Christophe Dupraz.

Ciel et Espace – Juin-Juillet 1993, numéro spécial : "L'Histoire cachée de l'astronomie". Un choix de thèmes variés depuis les astrologues du temps de Tycho Brahé jusqu'au canaux martiens de Lowell.

#### LE CARNET DE CELESTIN BIGIBUS

Manque d'ères – Si j'en crois le *tableau synoptique des ères* dans L'Histoire et ses méthodes (Encyclopédie de la Pléïade, p.1542), on créa beaucoup d'ères nouvelles au cours de l'histoire humaine, mais la mode semble passée. Dernière tentative, le "calendrier éternel" édicté en 1923 en URSS et abandonné en 1931. Une éternité de huit années, ça décourage...

Bernard d'Espagnat – "Dans l'ensemble, les personnes qui composent ce qu'on appelle le grand public cultivé respectent davantage les arts que les sciences et, très généralement, plus ce qui touche à l'homme que ce qui touche aux choses." (dans Regards sur la matière, p.131)

Alain Connes – "Il est très facile à un chimiste ou un astronome d'expliquer au grand public l'objet de ses recherches... C'est impossible à un mathématicien."

C'est à propos de la récente démonstration de la conjecture de Fermat que Maurice Carmagnole me rapporte ce propos de Connes. Est-ce tellement vrai ?

## LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

### SN 1993J : UNE NOUVELLE SUPERNOVA PROCHE

C'est dans la soirée du 28 mars 1993 qu'un astronome amateur espagnol a découvert dans son télescope, une nouvelle "étoile" de magnitude apparente 12, à 3' au sud-ouest du centre de la galaxie M81 (= NGC 3031), située dans la direction de la constellation de la Grande Ourse. Il s'agit là d'une nouvelle "supernova du siècle" après SN 1987A (observée dans le Grand Nuage de Magellan, ci-après noté GNM), car M81 est une des galaxies spirales les plus proches de nous, au-delà du Groupe Local (constitué essentiellement par notre Galaxie, les Nuages de Magellan, M31 et M33) : elle est en effet située à une distance de 3,5 Mpc de nous (1Mpc = un million de parsecs = 3,26 millions d'années de lumière), soit environ 70 fois plus loin que le GNM. Sa visibilité depuis l'hémisphère Nord est excellente au contraire de SN1997A et les données d'archive de très nombreux observatoires sont disponibles pour analyser les caractéristiques de l'étoile ayant donné lieu en explosant, au phénomène de supernova observé le 28 mars. Cette étoile est (ou plutôt "était"... ) une supergéante rouge (type spectral K0) qui précisément correspond en théorie, au stade d'évolution d'une étoile massive (d'au moins 10 fois la masse du Soleil) devant produire une supernova dans sa phase finale. En effet, une étoile aussi massive, lorsqu'elle a épuisé la première source d'énergie thermonucléaire transformant des protons en noyaux d'hélium, développe dans ses zones centrales toute la suite des réactions de fusion produisant des éléments de plus en plus lourds jusqu'aux noyaux de fer et à ce moment n'ayant plus de source d'énergie disponible pour assurer sa stabilité, elle s'écroule et finit par exploser pour donner lieu à une supernova dite de "type II" (voir Les Cahiers Clairaut n°37, p3).

Depuis le 28 mars, les astronomes sont mobilisés d'une part, pour suivre l'évolution de l'éclat de la supernova à différentes longueurs d'onde par des mesures photométriques permettant de tracer ce que l'on appelle "la courbe de lumière" de la supernova (cette courbe traduit la variation de l'éclat en fonction du temps) ; d'autre part, pour analyser finement les raies du spectre permettant d'accéder à la composition chimique des débris de l'explosion et à leurs mouvements.

L'éclat de SN 1993J est passé rapidement par un premier maximum (magnitude apparente visuelle de 10,6) le 29 mars suivi d'un déclin rapide et d'une remontée lente 8 jours après le maximum ; l'éclat s'est alors remis à augmenter pour passer par un second maximum légèrement moins intense que le premier (magnitude apparente visuelle de 10,9) le 18 avril. Depuis cette date l'éclat de la supernova décline lentement et suit depuis mai (environ depuis 40 jours après l'explosion) une décroissance exponentielle. La forme de cette courbe de lumière est tout à fait similaire à celle observée pour SN1987A ; la différence est simplement que les échelles de temps sont toutes réduites d'environ un facteur 3 à 4 pour SN 1993J ; ainsi, le début de la décroissance exponentielle qui se situait environ 4 mois après l'explosion pour SN 1987A, se produit ici au bout de 40 jours ; il s'agit probablement ici d'une masse plus faible de matière éjectée. La lumière émise par la supernova dans cette phase de décroissance exponentielle s'explique par la désintégration radioactive de noyaux produits par l'explosion ; en particulier, le nickel 56 nouvellement formé est à l'origine d'une chaîne de désintégration conduisant au cobalt 56 puis au fer 56 en alimentant la supernova en énergie sous forme de rayonnement gamma. Cette émission gamma est encore bloquée dans le milieu opaque de la supernova et pourrait se révéler directement dans les prochaines semaines (septembre ?) si l'on transpose ce qui a été observé pour SN 1987A au bout de 5 mois ; qu'en sera-t-il également de la détection d'un pulsar au centre de la supernova (ce résidu attendu n'a pas été confirmé dans SN 1987A contrairement à ce qui avait été annoncé ; voir Les Cahiers Clairaut n° 45, p35) ? De nombreux défis à relever pour les astronomes, observateurs et théoriciens...

L.Bottinelli

## Chronique du CLEA – Courrier des lecteurs

Une date et un lieu – Autrement dit, un point de l'espace-temps à noter immédiatement dans vos tablettes :

**Assemblée générale annuelle du CLEA**  
le dimanche 14 novembre 1993  
à La Rochelle

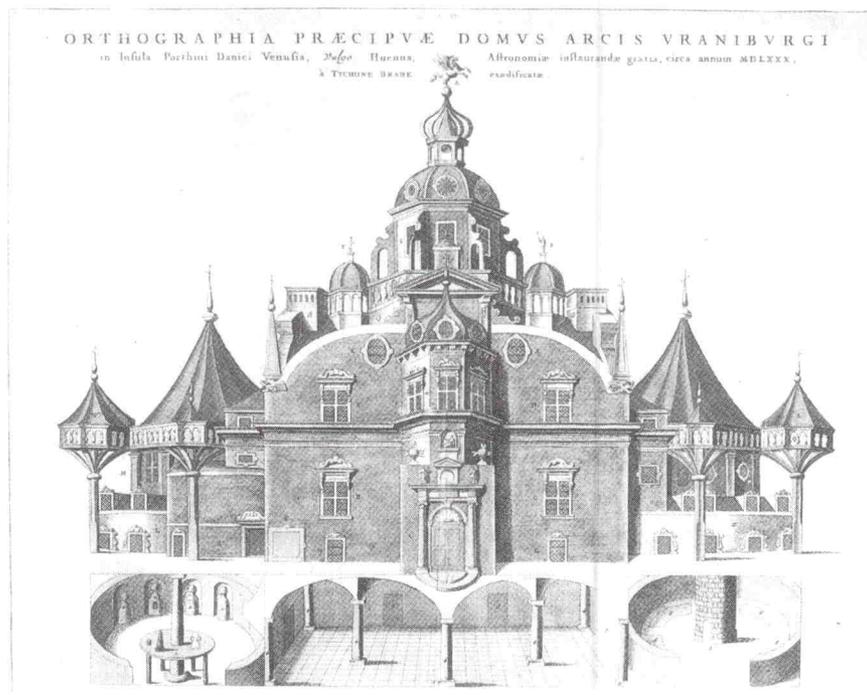
Grâce aux bons offices de nos Collègues qui font équipe à La Rochelle et avec l'aide de l'association locale L'Astrolabe, les membres du CLEA seront nombreux à profiter de cette occasion pour discuter du travail du CLEA tout en appréciant l'ouvrage des amis qui nous accueilleront.

*Comme chaque année, les membres du CLEA à jour de leur cotisation 1993, recevront en temps voulu une convocation qui précisera les conditions de voyage et d'hébergement ainsi que le programme détaillé de la journée.*

Le secrétariat du CLEA – Il s'est efforcé de satisfaire au moindre délai les nombreuses commandes de publications du CLEA qui lui sont parvenues, en particulier celles qui étaient motivées par l'annonce des nouveaux programmes de Première S. Les collègues auront excusé certains retards provoqués par des ruptures de stock. Toutes les mesures sont prises pour que l'approvisionnement soit à la hauteur des demandes.

La science en fête – De nombreuses initiatives ont marqué, les 4, 5 et 6 juin 1993 l'organisation *La science en fête* créée depuis plusieurs années par le Ministère de la Recherche Scientifique. Signalons en particulier l'exposition "Et pourtant elle tourne ..." animée par Daniel Toussaint à Aix en Othe avec le club M.42 ; observations le soir du 4, exposition Galilée les 5 et 6 juin.

Souvenirs de vacances – Les lecteurs des Cahiers Clairaut pensent à leur revue quand ils voyagent, les Collègues Astruc nous rapportent de Pologne ce document copernicien, la photocopie d'un billet de 100 zlotys ; Eliane Legrand, de Strasbourg, est allée faire passer le baccalauréat à Copenhague et en a profité pour penser à nous et à Tycho Brahes (orthographe danoise) :



**Une nuit à l'ESO** - Dans le cadre d'une semaine européenne de la culture scientifique (22-27 novembre 1993) la CEE organise un concours ouvert aux élèves de Première ou Terminale. Le premier prix à gagner est **une nuit d'observation à l'ESO**, l'Observatoire européen du Chili. Pour tout renseignement s'adresser à : The "Future Astronomers of Europe" Programme, c/o Geospace d'Aniane, BP 22, 34150 ANIANE (tél 67 03 49 49).

**La science au Pic** - On comprend l'émotion de beaucoup d'astronomes quand ils ont entendu dire que l'Observatoire du Pic du Midi pourrait être fermé. Un colloque "LA SCIENCE AU PIC" est organisé à Meudon les 16 et 17 novembre 1993 par J.Lecacheux (Observatoire Paris-Meudon) et J-P.Picat (Observatoire Midi-Pyrénées). Affaire à suivre.

**Les nuits très blanches de St Petersburg** - Depuis Dostoïevsky, nous savons qu'au voisinage du solstice d'été, les nuits sont si courtes à St Petersburg que ses habitants sont très énervés par le manque de sommeil. C'est ce que veut expliquer un commentaire "instructif" dans la revue **Historia** (n°557, mai 1993). Dans la réalité, en juin, à cette latitude, le crépuscule du soir avant de finir est relayé par le crépuscule du matin. Historia se prend les pieds dans les latitudes, c'est une revue d'histoire, pas de géographie. Elle place St Petersburg sur le cercle polaire arctique. Passons. Ensuite, invoquant la fameuse inclinaison de l'axe de la Terre (inclinaison sur quoi, on ne le dit pas), on affirme, contrairement avec ce qui est dit six lignes plus haut, que le Soleil ne se couche pas pendant six mois à St Petersburg. Bref, nuits blanches là-bas, brouillard très dense à Historia.

---

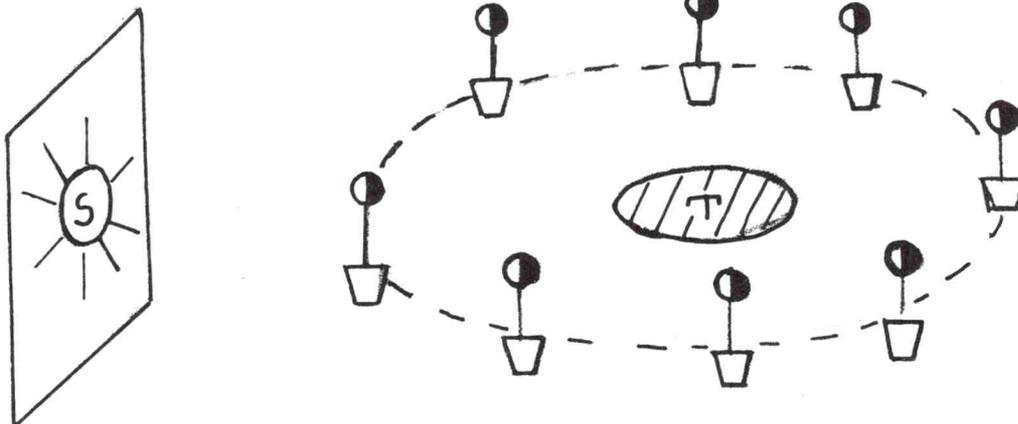
---

## Les enfants et l'Astronomie

---

---

**Les phases de la Lune** - Voici un joli montage imaginé par des élèves de Sixième et de Cinquième pour expliquer à leurs parents les phases de la Lune. Ils plantent huit boules de 10 cm de diamètre, peintes moitié en noir moitié en blanc, au bout de tiges de roseau plantées dans des pots de fleurs. Les pots disposés en cercle autour d'un cerceau habillé d'un sac poubelle représentant la Terre ; à quelques mètres du grand cercle un panneau sur lequel est peint un magnifique Soleil. Les boules figurant la Lune ont toutes leur hémisphère blanc tourné vers le Soleil.



Les "clients" à qui les enfants voulaient expliquer les phases sont installés au centre sur le disque "Terre". Les clients sont invités alors à décrire comment ils voient les différentes boules "Lune", en prenant soin de suivre le sens direct, celui du mouvement de la Lune autour de la Terre.

J'ai entendu un élève de Sixième demander à un spectateur qui paraissait immense à côté de lui : "Pas de question ? Vous avez tout compris ?". Une autre famille restée sur la touche en observateur a éclaté de rire devant l'assurance du gamin. Après quoi, Monsieur dit à Madame "Tu ne vas pas me croire, mais c'est la première fois que je comprends vraiment les phases de la Lune."

Jeanine Chappelet  
(club des Pléïades, Collège Valeri à Nice)

## Astrologie et recrutement (suite)

Les "amendements Mickey", ajoutés par Mme Martine Aubry au projet de loi sur le travail à temps partiel (décembre 1992) concernent en général les abus des méthodes de recrutement, l'astrologie n'étant qu'un exemple parmi d'autres.

Espérons, sans trop y croire, que ces amendements; qui doivent leurs noms aux abus constatés lors de la mise en place de Disneyland; déboucheront sur des mesures concrètes. Si les pratiques actuelles devaient se poursuivre dans une demi-clandestinité, on n'aurait pas gagné grand chose, sinon un peu plus de discrétion dans le scandale.

Dans l'attente de dispositions juridiques efficaces, le petit calcul de Monsieur Y visant à s'attribuer un très utile ascendant Sagittaire (Cf **Cahiers Clairaut n°59**) garde tout son intérêt, étant applicable immédiatement, selon les circonstances et les lubies personnelles de celui qu'il s'agit de tromper. L'astrologie pourrait un jour se glisser dans les conseils de classe (pour l'orientation), dans les jurys d'examen, dans les tribunaux, dans les compagnies d'assurances,... Que faire alors, sinon ruser, pervertir le système par le mensonge et la dissimulation ?

Heureusement, l'une des trois données indispensables au "travail" de l'astrologue se révèle particulièrement fragile. Comme notre heure de naissance n'a aucun autre intérêt que de permettre l'établissement de notre thème astral, la société ne s'en préoccupe guère et son exactitude ne fait jamais l'objet d'aucun contrôle. C'est donc la seule donnée falsifiable, sur laquelle repose pourtant la moitié de l'astrologie puisque c'est elle qui détermine la position de nos planètes dans les "Maisons" ainsi que notre ascendant. Si les astrologues étaient aussi savants qu'ils le prétendent, la falsification leur sauterait aux yeux. Dans la pratique, chacun peut constater qu'il n'en est rien.

Quant à l'astronome, si la notion d'ascendant lui est totalement étrangère, avec ses connotations médiévales, en revanche, il peut sans difficulté calculer L, longitude du point de l'écliptique qui se lève à une certaine heure d'un certain jour en un lieu donné. C'est la même chose que l'ascendant, mais situé dans le ciel réel (et non dans le ciel fictif des astrologues) et débarrassé de toute implication psychologique, morale ou autre.

Comme on passe très facilement d'un système à l'autre, l'astronome peut, s'il le souhaite, s'introduire à volonté dans l'univers astrologique. C'est ainsi que le calcul purement pratique de Monsieur Y, revu et complété par un astronome, est susceptible d'un traitement graphique très instructif. Le graphique ci-contre, ainsi que la méthode à suivre pour l'utiliser, sont dus à M. Michel Toulmonde dont l'ouvrage "**Simulations en astronomie sur ordinateur**", publié par le CLEA, fournit la démonstration complète du calcul de L (voir l'encadré au centre du graphique avec  $\epsilon$  = obliquité de l'écliptique =  $23,44^\circ$ ).

1- Calculer en minutes le temps sidéral local à 0h TU du jour de naissance :

$$TS_0 = 395 + 120(M - 1) + 4(J - 1) - 4G$$

avec M = numéro du mois de naissance

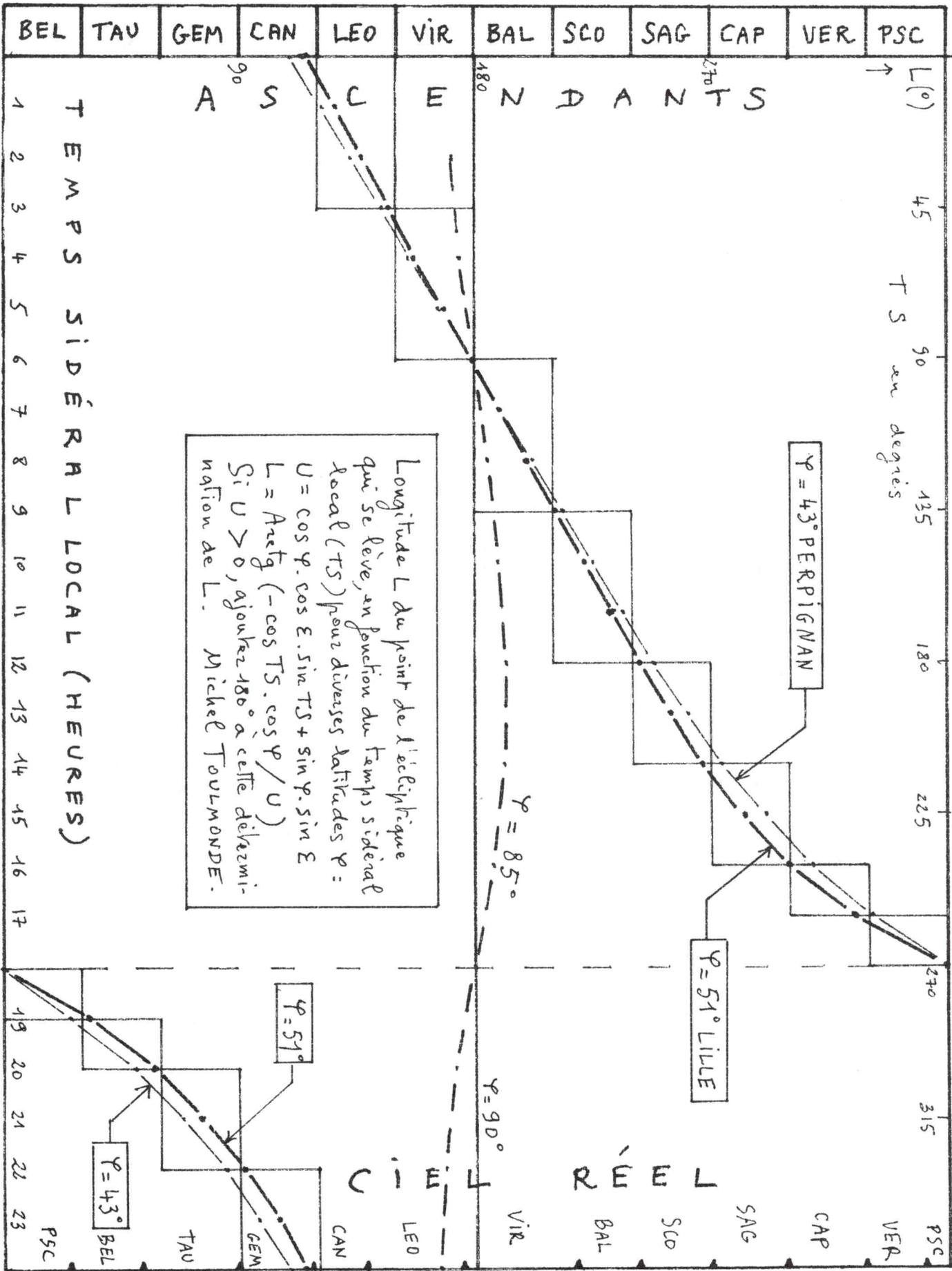
J = numéro du jour

G = longitude du lieu de naissance en degrés comptés négativement à l'Est du méridien de Greenwich (exemples : Paris  $-2,5^\circ$  ; Brest  $+5^\circ$ ). Au besoin consulter un atlas ou la carte Michelin.

2. Convertir  $TS_0$  en heures et minutes en le ramenant dans l'intervalle (0,24 h) si nécessaire. Exemple : le 1/4/1980 (ou 19800401) à Paris

$$TS_0 = 395 + 120 \times 3 + 4 \times 0 - 4 (-2,5^\circ) = 765 \text{ min} = 12 \text{ h } 45 \text{ mn}$$

3. Choisir un ascendant astral parmi les douze.



4. Relever sur le graphique les limites en TS de cet ascendant choisi. Exemple : Virgo  
 $TS_1 = 3h$      $TS_2 = 6h$

5. Calculer  $TU_1 = TS_1 - TS_0$  (à 24 h près)  
 $TU_2 = TS_2 - TS_0$

Exemple : ascendant Virgo à Paris le 1/4/1980, il faut être né entre 14h 5 et 17h15 TU. Si on choisit l'ascendant Taureau, les valeurs deviennent  $TS_1 = 19 h$ ,  $TS_2 = 20h$  puis  $TU_1 = 6h15$  et  $TU_2 = 7h15$

6. Ajouter 1 heure aux heures TU pour obtenir les heures légales (naissance entre 1946 et 1976) et choisir dans l'intervalle ainsi déterminé une nouvelle "heure de naissance". Ne pas trop s'approcher des heures de début et de fin à cause des approximations sur  $TS_0$ , sur TU (on néglige volontairement le fait que TS n'est pas un temps moyen), sur la longitude et sur la lecture du graphique. L'heure choisie donnera l'ascendant voulu sur tous les logiciels d'astrologie (astroflash, Minitel, cabinets de recrutement, particuliers).

Il va sans dire qu'il s'agit de l'ascendant des astrologues et non de la constellation du même nom qui se trouve à une vingtaine de degrés plus loin le long de l'écliptique, ce que l'on peut constater sur l'échelle de droite du graphique (exemple : le Lion).

Remarquons en outre que le vrai Scorpion des astronomes, de forme irrégulière, n'intercepte que  $7^\circ$  environ de l'écliptique ( et  $20^\circ$  pour Ophiucus) et le Lion environ  $44^\circ$ . On devrait donc trouver dans la population 6 fois plus de Lion que de Scorpion et 36 fois plus de double-Lion (signe et ascendant) que de double-Scorpion. C'est une des raisons pour lesquelles les astrologues refusent de rattacher leurs prédictions au ciel réel. A l'inverse, cela ne trouble nullement les astronomes que les constellations soient de dimensions inégales. Pour avoir le même ascendant que son signe astrologique, il faut naître quand le Soleil se lève.

A la latitude exacte de  $66,56^\circ$  ( $90^\circ - \epsilon$ ), se produit chaque jour, 4 minutes plus tôt chaque jour, un phénomène étonnant. Pendant un court instant, lorsque  $TS = 18 h$ , tout l'écliptique coïncide exactement avec l'horizon. L'enfant né à cet instant n'a donc pas du tout d'ascendant, à moins que l'on considère comme ascendant tout le zodiaque.

Plus au Nord, le nombre des ascendants possibles diminue en même temps que la variété des paysages : il n'en reste plus que 6, puis 4, puis 2 seulement Vierge ou Balance, à la latitude de  $85^\circ$  (voir graphique). L'enfant du pôle, sorte de Petit Prince de la banquise, ne peut être que d'ascendant  $0^\circ$  Balance (ou  $30^\circ$  Vierge) à moins qu'il ne vienne, lui aussi, d'une autre planète.

D'une manière générale, au-delà de la latitude  $66,56^\circ$ , l'astrologie ne fonctionne plus normalement. C'est bien ennuyeux...

Pierre Lerich  
(Lille, janvier 1993)

---

## LES PUBLICATIONS DU C. L. E. A.

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

Toutes les publications du CLEA sont conçues pour l'information des enseignants et pour les aider dans leur enseignement de l'astronomie.

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1. L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps (20F-25F)
2. Le mouvement des astres (25F-30F)
3. La lumière messagère des astres (25F-30F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (30F-35F)
5. Renseignements pratiques, bibliographie pour l'astronomie (25F-30F)
- 5bis. Complément au fascicule 5 (25F-30F)
6. Univers extragalactique et cosmologie (30F-35F)
7. Une étape de la physique, la Relativité restreinte (60F-68F)
8. Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie (60F-68F)
9. Le système solaire (50F-58F)
10. La Lune (30F-35F)
11. La Terre et le Soleil (40F-48F)
12. Simulation en astronomie sur ordinateur (30F-35F)

### COURS POLYCOPIES D'ASTROPHYSIQUE (M3.C4 de l'Université Paris XI-Orsay)

- I. Astrophysique générale (30F-35F)
- II. Mécanisme de rayonnement en astrophysique (30F-35F)
- III. Etats dilués de la matière : le milieu interstellaire (30F-35F)
- IV. La structure interne des étoiles (30F-35F)
- V. Relativité et cosmologie (30F-35F)
- S. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil (30F-35F)

### LES FICHES PEDAGOGIQUES DU CLEA, numéros hors série des Cahiers Clairaut

- HS1. L'astronomie à l'école élémentaire (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)  
HS2. La Lune, niveau collège 1 (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)  
HS3. Le temps, les constellations, niveau lycée (60F-68F) (40F-48F pour abonnés)

### TRANSPARENTS ANIMES POUR RETROPROJECTEUR

- T1. Le TranSoLuTe (les phases de la Lune et les éclipses) (50F-55F)
- T2. Les fuseaux horaires (50F-55F)
- T3. Les saisons (50F-55F)

### DIAPPOSITIVES (séries de 20 vues + livret de commentaires) chaque 50F-55F

- D1. Les phénomènes lumineux
- D2. Les phases de la Lune
- D3. Les astres se lèvent aussi
- D4. Initiation aux constellations
- D5. Rétrogradation de Mars
- D6. Une expérience pour illustrer les saisons (série de 8 vues, 30F - 35F)

### LE CINECIEL, une sphère armillaire à monter en kit (100 F)

### LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE

Grasse 1983 (58F-66F) ; Formiguères 1984 (65F-75F) ; Formiguères 1985 (100F-110F)  
Formiguères 1986 (100F-110F) ; Gap 1990 (100F-110F)

Pour chaque publication, le deuxième prix est celui qui comprend les frais d'expédition et concerne donc les commandes par la poste.

Chèques à l'ordre du CLEA envoyés au secrétaire :

Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD - Tél (1) 47 71 69 09

## LE C.L.E.A. et LES CAHIERS CLAIRAUT

### Conditions d'adhésion et d'abonnement pour 1993 :

Cotisation simple au CLEA pour 1993	25 F
Abonnement simple aux Cahiers n°61 à 64	100 F
Abonnement aux Cahiers (n°61 à 64) ET cotisation au CLEA pour 1993	120 F
Contribution de soutien (par an)	30 F
Le numéro des Cahiers Clairaut (port compris)	35 F

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

A L'INTENTION DES NOUVEAUX ABONNES, dix fascicules thématiques ont été édités ; ils réunissent des articles publiés dans les Cahiers Clairaut. Tout nouvel abonné reçoit en témoignage de bienvenue un fascicule à choisir dans la liste suivante :

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

### COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

- C1. Collection complète du n°1 au n°60 (800F-860F)
- C88. C89. Collection 1988 ou 1989 (chaque 80F-90F)
- C90. C91. C92. Collection 1990 ou 1991 ou 1992 (chaque 90F-100F)

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

### PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

- SCPS1. Le système solaire, 10 cartes postales en couleurs (30 F)
- SCPS2. Les Merveilles de l'Univers", 10 cartes postales en couleurs présentant quelques-uns des plus beaux objets célestes (30F)
- LS0. Catalogue des étoiles les plus brillantes, toutes les données disponibles au Centre des Données Stellaires de l'Observatoire de Strasbourg concernant 2000 étoiles visibles à l'oeil nu (75F)

Vos commandes sont à adresser au Service librairie, Planétarium de Strasbourg, rue de l'Observatoire, 67000 STRASBOURG.

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim  
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff  
Dépot légal : 1<sup>er</sup> trimestre 1979  
Numéro d'inscription CPPAP : 61660