



bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lect
pour
et se
His
Re
d'o
Ar
fo
Réfle
déb
Info
élève
Vie
Tex
exerc
Articles

Les potins de la Voie lactée



numéro 100 - HIVER 2002-2003

ISSN 0758-234X

Comité de liaison enseignants astronomes

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

agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAF-PEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (obser-

vations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

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



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex
Tel / Fax : 01 69 15 63 80
Adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr
Le CLEA est présent sur Internet à l'adresse :
<http://www.ac-nice.fr/clea>

Bureau du CLEA pour 2002

Présidents d'honneurs

Jean-Claude Pecker et Evry Schatzman

Présidente

Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents

Agnès Acker, Marie-France Duval
Jean Ripert, Josée Sert
Gilbert Walusinski

Rédactrice en chef

Martine Bobin

Rédacteur associé

Frédéric Dahringer

Trésorière

Béatrice Sandré

Secrétaires

Martine Bobin et Catherine Vignon

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin
Francis Berthomieu
Martine Bobin
Michel Bobin
Lucette Bottinelli
Pierre Causeret
Frédéric Dahringer
Jacky Dupré
Charles-Henri Eyraud
Jean-Luc Fouquet
Lucienne Gouguenheim
Marie-Agnès Lahellec
Colette Le Lay
Lucette Mayer
Georges Paturel
Jean Ripert
Josée Sert
Daniel Toussaint
Gilbert Walusinski

EDITORIAL

Ce numéro 100 des Cahiers Clairaut marque les 25 ans de notre association ce qui a donné l'occasion à Lucienne Gouguenheim et à Georges Paturol d'établir un état des lieux et de proposer des pistes pour l'avenir.

Magnifiquement organisée par Lucette Mayer à Orléans, l'Assemblée Générale a été particulièrement dynamique et chaleureuse. Nous avons beaucoup réfléchi à la façon de faire évoluer notre association dans un contexte qui a changé : comment toucher les jeunes, les professeurs des écoles et de collège, comment réaliser la complémentarité indispensable entre le site du CLEA et les CC. Le compte-rendu paraîtra dans le n° 101.

L'école d'été 2002 à Gap a été un tel succès que nous envisageons de recommencer en 2003. Liliane Sarrazin-Vilas en fait un compte rendu enthousiaste.

Voilà déjà 15 ans que nous travaillons avec Monsieur Gérard Hauguel, notre imprimeur. Notre fidélité est due à la qualité du travail effectué et à la cordialité de nos rapports avec lui. Pour ce numéro 100, il nous offre la couleur au prix du noir et blanc.

Nous vous proposons une belle mise au point sur DENIS, par Guy Simon et la suite de l'article sur les sursauts γ .

Des articles simples pour la rubrique "Avec nos élèves" : approche historique de la spectroscopie par Pierre le Fur, recherche de documents CLEA sur deux thèmes (calendriers et lire le ciel) par Lucienne Gouguenheim et fonctionnement des cartes célestes mobiles par Pierre Causeret.

Jean Ripert tord le cou à quelques idées reçues et Pierre Lerich nous parle de Ptolémée astrologue.

Merci à tous les auteurs et bonnes lectures à tous.

La Rédaction

Les Cahiers Clairaut

hiver 2002 n° 100



Article de fond

Le relevé infrarouge
DENIS

p. 2

Les sursauts γ

p. 5



Avec nos élèves

Jeux de réseaux

p. 11

A propos des itinéraires de découverte

p. 16

Les cartes tournantes
du ciel

p. 19



Curiosités

Naissances et
astronomie

p. 26

Remue-méninges



Occultation de Saturne
par la Lune

p. 32

Histoire



Ptolémée astrologue

p. 33

Réflexions et débat



Le CLEA hier et
demain

p. 35

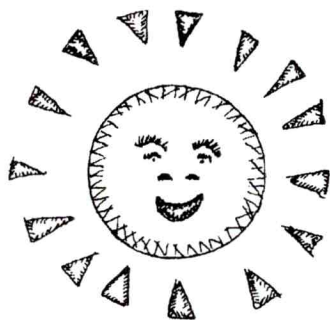
Vie associative



Compte-rendu de
l'école d'été

Hommage à Janette
Walusinski

p. 38



Le Relevé Infrarouge DENIS

Guy Simon, Observatoire de Paris

ARTICLE DE FOND

Guy Simon, après un survol historique des observations, essentiellement spatiales, de l'Univers "infrarouge", (on peut relire les CC n° 27, 34, 43, 44,...) décrit les données techniques sur ce fameux détecteur infrarouge "Denis" (DEep Near Infrared southern sky Survey). Puis il détaille les acquis scientifiques de cet instrument, dans les domaines -des étoiles naines - des géantes rouges - des nuages moléculaires - de l'extinction interstellaire et de l'astronomie intergalactique

L'Univers infrarouge

Les avances technologiques dans les années 60 ont permis de réaliser des détecteurs infrarouge qui ont ouvert une nouvelle fenêtre dans l'Univers observable. Un premier relevé de l'hémisphère Nord, le Two Micron Sky Survey (TMSS) dans la bande K a permis de dresser un catalogue d'environ 5600 étoiles jusqu'à la magnitude de 3,1 et de révéler toute la richesse du domaine infrarouge. En 1985, le satellite IRAS a réalisé un relevé complet du ciel dans l'infrarouge moyen ($1,6 \cdot 10^5$ sources) qui constitue un catalogue de référence.

La surprise a été grande chez les pionniers de détecter des sources très rouges, constituées principalement d'étoiles froides (naines M et géantes rouges) et d'étoiles entourées d'un halo de poussières : jeunes étoiles et étoiles AGB (de la branche asymptotique des géantes, qui présentent un fort taux de perte de masse). L'instrument DIRBE à bord du satellite COBE (COsmic Background Explorer) lancé en 1989 a par ailleurs révélé des nuages moléculaires très étendus dans certaines régions de la Galaxie.

Une autre particularité de l'infrarouge en rend l'étude particulièrement attractive. En effet, l'extinction interstellaire, provoquée par la diffusion de la lumière par les

poussières, diminue dans les grandes longueurs d'onde, ce qui permet de sonder les régions les plus obscures du ciel : observation des étoiles en formation dans le cœur des nuages moléculaires et des populations stellaires dans les régions obscures de la Voie Lactée, comme le Bulbe Galactique.

Les observations infrarouge

Les observatoires embarqués sur des sondes spatiales constituent un apport indispensable dans ce domaine de longueurs d'onde pour lequel le rayonnement est en général absorbé par l'atmosphère terrestre (principalement la vapeur d'eau). C'est ainsi que la plupart des résultats scientifiques proviennent d'IRAS, de COBE et d'ISO, ce dernier ayant opéré à la fin des années 90. Cependant, quelques "fenêtres" permettent d'effectuer des observations depuis le sol, dans le proche infrarouge. Tous les observatoires mettent à présent des détecteurs infrarouges performants à la disposition des astronomes qui peuvent ainsi améliorer la détermination des paramètres stellaires. Néanmoins, aucun relevé systématique n'était opéré avant que soient décidées deux grandes opérations d'envergure au début des années 90 : le DEep Near Infrared southern

sky Survey (DENIS) par un consortium européen et le Two Micron All Sky Survey (2MASS) par un consortium américain.

	DENIS	2MASS
Principal investigateur	N.Epchein (OCA), France	M.Skrutskie (UMass), USA
Hémisphères	Sud ($< 2^\circ$)	Nord + Sud
Télescopes	ESO 1m	2 nouveaux 1,3m
Bandes photométriques	I ($0,8\mu\text{m}$), J($1,25\mu\text{m}$), K_s ($2,15\mu\text{m}$)	J, H($1,65\mu\text{m}$), K_s
Détecteurs	CCD 1024^2 (I) NICMOS 256^2 (JK)	NICMOS 256^2
Pixel	Pixel 1" (I), 3" (JK)	2"
Temps de pose	8s (I), 9 fois 1s (JK)	6 fois 1,3s
Géométrie de l'observation	$12' \times 30^\circ$	$8' \times 6^\circ$
Epoque du relevé	1996-2001	1997-2000
Coût	3 millions \$	30 millions \$

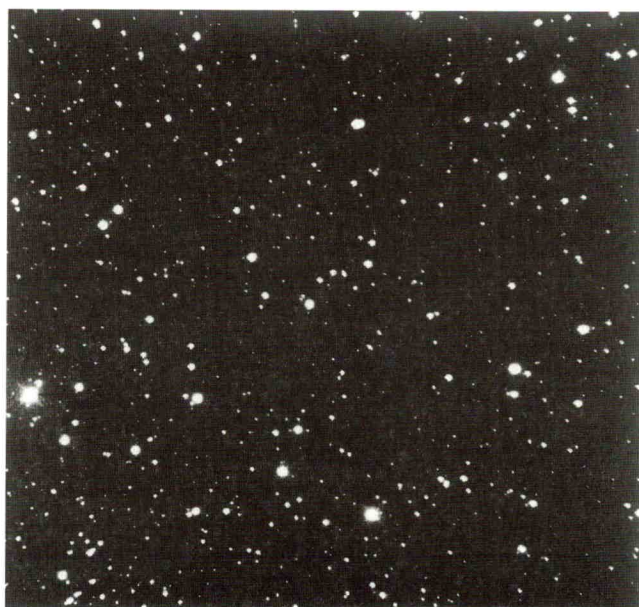


Image I ($0,8\mu\text{m}$) du Centre Galactique



Image J ($1,2\mu\text{m}$) du Centre Galactique

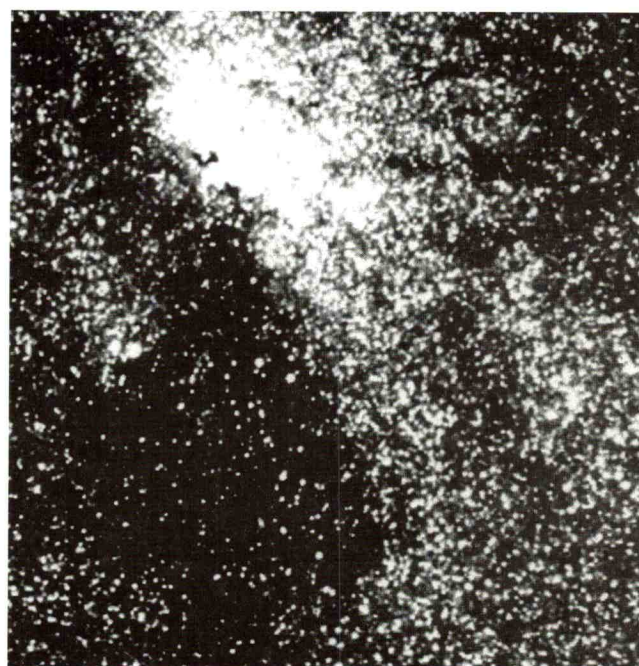


Image K ($1.4\mu\text{m}$) du Centre Galactique.
La diminution de l'extinction révèle les sources cachées à plus courte longueur d'onde.

Le mode opératoire de DENIS

L'instrument est conçu de telle sorte que le faisceau incident du télescope est divisé en trois voies vers les détecteurs I, J et K. Le pixel des détecteurs J et K ayant une résolution de 3", un miroir déplace le faisceau de 1/3 de pixel dans chaque direction. Les 9 poses de 1s ainsi obtenues sont entrelacées afin d'obtenir des images "haute résolution" équivalentes aux images I dont le pixel a 1" de résolution. Chaque image couvre un champ de 12' x 12'.

L'observation se fait par bande de 30°, au voisinage du méridien afin de minimiser la masse d'air traversée. Le ciel austral est couvert par 5112 bandes. Chaque bande est accompagnée par l'observation d'étoiles "standard" afin de déterminer la mesure des magnitudes hors atmosphère (détermination du point zéro). Les données sont stockées sur disque en temps réel, puis copiées sur DAT après compression pour être envoyées au centre de traitement de Paris. Le volume de données peut atteindre 1,7 gigaoctet/nuit. Le relevé a couvert 97 % du ciel austral après 6 années d'observation.

Le traitement

Le Centre de traitement des données de Paris réalise toutes les opérations classiques de traitement des images pour déterminer les paramètres des sources détectées. L'astrométrie est réalisée avec le catalogue USNO-2 pour référence. En fin de chaîne, les informations ponctuelles sont archivées dans une base de données qui permet leur consultation et les images sur une batterie de disques. Les volumes sont respectivement de 300 gigaoctets et de 2,5 teraoctets.

Principaux résultats scientifiques

1. Naines brunes

Ce sont des objets dont la température centrale est insuffisante pour permettre le déclenchement des réactions

nucléaires brûlant l'hydrogène. Leur photosphère est donc très froide et leur masse inférieure à environ 0,07 masse solaire. Le seul test observationnel actuellement valide est la détection du Lithium dans leur photosphère (la température est trop faible pour que l'atome de Lithium se transforme en Hélium par capture d'un proton).

Plusieurs naines brunes ont été détectées grâce à leur couleur $I - J > 3$ et la confirmation de la qualité de naine brune de quelques-unes réalisée par des observations spectrales au télescope de 10m Keck (test du Lithium).

Cette recherche a permis en outre de mettre en évidence une nouvelle classe d'étoiles naines, les naines L, de masse inférieure à 0,3 masse solaire, qui prolonge vers les basses températures la fonction de luminosité connue.

2. Naines M du voisinage solaire

Les populations stellaires du voisinage solaire semblent assez bien connues. On estime que notre inventaire des naines G et K, qui sont relativement brillantes, est complet jusqu'à 25 pc. La situation est différente pour les naines M, plus faibles. C'est ainsi que, par des considérations de couleurs avec DENIS, qui permettent de sélectionner ce type d'étoiles, et par une recherche systématique sur les plaques Schmidt prises voici une vingtaine d'années quand l'identification des objets est très probablement pertinente, on peut mesurer les mouvements propres. On a pu ainsi découvrir plusieurs dizaines de ces objets plus proches de 30 pc, et en particulier une naine M9 à 3,35 pc environ, ce qui la place parmi la dizaine d'étoiles les plus proches.

3. Etoiles AGB

Les populations stellaires du Bulbe Galactique sont très mal connues à cause de l'importante extinction interstellaire dans cette région qui cache la plupart des sources dans le domaine optique. L'infrarouge permet des sondages plus profonds. Les étoiles AGB

(branche asymptotique des géantes rouges) se caractérisent par une importante perte de masse. Elles occupent dans les diagrammes couleur/magnitude (J-K/K) une place bien définie qui permet de faciliter leur identification. Pour l'améliorer, les données DENIS ont été associées à des observations avec la caméra infrarouge du satellite ISO du plan Galactique, à 7 et 15 μ m. On a ainsi pu détecter plusieurs dizaines d'AGB dans le Bulbe.

Plus généralement, les AGB et les géantes rouges sont systématiquement recherchées et introduites dans la base ASTRID qui est développée à l'Université de Montpellier.

4. Nuages Moléculaires

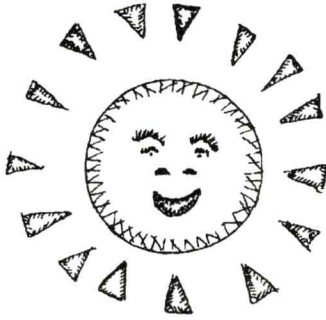
Les nuages moléculaires sont le lieu d'une intense formation stellaire dont les pépinières sont cachées au sein de la poussière interstellaire. Les observations DENIS ont permis de détecter de nombreuses jeunes étoiles, notamment dans le Caméléon et la région d'Orion, et de réaliser une carte de l'extinction.

5. Extinction interstellaire dans le plan Galactique

Les diagrammes couleur/magnitude ont permis de réaliser une carte de l'extinction dans la région centrale du plan Galactique avec une résolution de 2 minutes d'arc. Elle met en évidence son caractère « granuleux » et révèle des régions à très forte extinction ($A_V > 30$).

6. Astronomie extragalactique

Le relevé permet de préciser les paramètres des galaxies et d'en découvrir de nombreuses, notamment au voisinage du plan Galactique. Ces données sont introduites dans la base LEDA, maintenue par l'Observatoire de Lyon. Elles font en outre l'objet d'un suivi radio à l'Observatoire de Nançay et d'un suivi spectroscopique en Australie, pour en déterminer les distances.



Les sursauts γ

J.L. Atteia, CESR

Robert Mochkovitch, IAP

Dans notre précédent numéro (CC 99, automne 2002), ces deux chercheurs avaient présenté les 30 ans d'histoire des sursauts γ puis décrit les observations, notamment les aspects temporels et spectraux. Ils poursuivent aujourd'hui par les délicats aspects théoriques : nature des sources, production du vent relativiste, du sursaut, et des contreparties à basse énergie, et concluent ce second article en présentant les missions et les outils subtils en cours de réalisation.

Les modèles théoriques de sursauts γ

Contraintes de base sur les modèles

Les données accumulées par l'expérience BATSE et les résultats récents de "Beppo" SAX ont révolutionné les idées théoriques concernant les sursauts. Considérés pendant près de 20 ans comme appartenant à notre Galaxie ils sont aujourd'hui rejetés à distance cosmologique et deviennent les objets les plus brillants de l'Univers, produisant pendant quelques secondes une puissance comparable à celle de l'ensemble des galaxies observables !

Avant toute discussion détaillée d'un scénario théorique pour les sursauts γ , il est possible d'énoncer un certain nombre de contraintes de base qui devront être satisfaites par les modèles. Tout d'abord, la variabilité observée des profils temporels jusqu'à l'échelle de la milliseconde indique que les sources des sursauts doivent être des objets compacts, seuls capables de présenter une dynamique suffisamment rapide (la taille R de l'objet ne peut excéder

$R_{\text{sup}} \sim c \cdot \delta t$ où δt est l'échelle de temps associée à la variabilité).

La seconde contrainte est simplement liée à la formidable quantité d'énergie E_γ rayonnée par les sursauts. A partir des quelques événements à décalage cosmologique z connu, il est possible de remonter à la valeur (en joule) de E_γ :

$$E_\gamma \sim E \cdot (\Omega / 4\pi)$$

avec E de l'ordre de 10^{44} à 10^{47}

où Ω est l'angle solide dans lequel l'énergie est focalisée. Certaines indications tirées de l'observation des afterglows laissent penser que les sursauts les plus extrêmes pourraient être les plus focalisés, ce qui limiterait la valeur effective de E_γ à un intervalle plus restreint, peut-être entre 10^{44} et 10^{45} J. Cette énergie est libérée en quelques secondes, ce qui conduit à des luminosités jusqu'à 15 ordres de grandeur supérieures à la limite d'Eddington. La limite d'Eddington correspond à la luminosité au-delà de laquelle la force exercée par la diffusion Thomson des photons sur les électrons dépasse la gravité de l'objet. Les sources produisant les sursauts γ ne peuvent donc rayonner à partir d'une enveloppe

pe statique. Au contraire, l'émission doit provenir d'un vent "soufflé" par le rayonnement. De plus, ce vent doit atteindre une vitesse relativiste, nécessaire pour s'affranchir du problème dit de "compacité". Celui-ci s'énonce de la manière suivante : le spectre observé des sursauts γ s'étendant souvent au delà de 511 keV, la production massive de paires électron-positron à partir des photons les plus énergétiques est susceptible de rendre la source opaque à son propre rayonnement. Dans le cas d'une émission à partir d'un vent relativiste de facteur de Lorentz Γ , le seuil à 511 keV pour la création de paires dans le repère propre du vent correspond à des photons qui sont observés à une énergie Γ fois plus grande. Si le facteur de Lorentz est élevé ces photons sont très peu nombreux ce qui permet de résoudre le problème de compacité. En pratique, des calculs détaillés montrent que des valeurs de Γ supérieures à 100 sont nécessaires.

Enfin, à partir du diagramme Log N - Log P interprété dans un cadre cosmologique, il est possible d'estimer l'intervalle de redshift couvert par la population des sursauts et le taux moyen d'événements par galaxie f_γ . Ainsi, pour expliquer la fréquence observée par BATSE d'environ un sursaut par jour il faut avoir

$$f_\gamma \sim f \cdot (\Omega / 4\pi)^{-1}$$

sursaut par galaxie et par an

avec f de l'ordre de 10^{-7} à $3 \cdot 10^{-6}$

ce qui montre que la sensibilité de BATSE lui permet de surveiller plusieurs centaines de millions de galaxies jusqu'à $z > 1$! L'incertitude importante sur la valeur de f_γ résulte de possibles effets d'évolution mal connus sur la population des sursauts à grand z . Si l'émission est focalisée, la contrainte sur l'énergie se trouve allégée, mais le taux d'événement doit bien sûr être augmenté d'autant.

Les sursauts γ apparaissent finalement comme des événements intrinsèquement rares (dans une galaxie donnée), issus de sources dont la taille ne dépasse pas la centaine de kilomètres, et qui produisent un vent relativiste, sans doute focalisé, transportant une énergie considérable.

Les sources des sursauts γ

Parmi les différentes sources invoquées pour expliquer les sursauts, les plus discutées aujourd'hui sont, d'une part les coalescences d'objets compacts (étoiles à neutrons ou trous noirs), et d'autre part les effondrements d'étoiles massives en trou noir. Plusieurs systèmes binaires serrés constitués de deux étoiles à neutrons sont connus dans notre Galaxie (le plus fameux étant le pulsar binaire PSR 1913 + 16 qui a permis de tester avec une précision inégalée les prédictions de la relativité générale). La perte de moment angulaire par rayonnement gravitationnel rapproche les deux étoiles jusqu'à la collision finale qui, dans le cas de PSR1913 +16, se produira dans $3 \cdot 10^8$ ans environ. La coalescence de deux étoiles à neutrons est une des sources les plus prometteuses pour la détection des ondes gravitationnelles. La phase d'approche des deux étoiles a été beaucoup étudiée et est maintenant relativement bien comprise. Il en va tout autrement de la coalescence elle-même dont la dynamique est beaucoup plus complexe.

Le scénario le plus probable prédit que l'objet résultant est constitué d'un coeur de masse $M_c > 2,5 M_\odot$ en rotation uniforme qui s'effondre rapidement pour donner un trou noir entouré d'un disque épais, d'environ $0,3 M_\odot$, en rotation différentielle. Les coalescences étoile à neutrons-trou noir aboutissent au même type de structure mais de manière plus directe puisque le trou noir est déjà présent. Le taux de coalescence est difficile à estimer mais il pourrait être d'environ 10^{-5} événement par galaxie et par an pour les binaires d'étoiles à neutrons, et comparable ou un peu plus faible pour les binaires étoile à neutrons-trou noir.

L'autre type de source proposé pour les sursauts γ est l'effondrement du coeur d'une étoile massive arrivée au terme de son évolution. Celui-ci devient un trou noir alors que la matière des régions plus périphériques, momentanément soutenue par son moment angulaire, forme un disque d'accrétion épais. De tels événements sont notablement plus fréquents que

les coalescences, avec un taux estimé à 10^{-3} par galaxie et par an. Cette valeur très supérieure à f_γ autorise (impose) un grand "taux d'échec" dans la production du sursaut ou encore une focalisation importante de l'émission.

Bien que partant de sources très différentes, tous ces scénarios aboutissent donc à la formation du même type d'objet résultant - un trou noir entouré d'un disque épais - avec cependant une masse de disque allant de quelques dixièmes de masse solaire pour la coalescence de deux étoiles à neutrons jusqu'à plusieurs dizaines de masses solaires pour l'effondrement d'une étoile massive. Une autre différence importante est qu'en raison du temps de vie très court (quelques millions d'années) des étoiles massives, les sursauts qu'elles produisent sont attendus au coeur des régions de formation d'étoiles. A l'inverse, les binaires d'objets compacts ne forment de sursaut qu'après le long temps (plusieurs 10^8 ans typiquement) mis par les deux composantes pour se rapprocher. Cela permet au système de quitter les régions de formation d'étoiles et même d'atteindre les zones périphériques de sa galaxie d'origine. L'observation des quelques contreparties optiques de sursauts γ où la "galaxie hôte" est également détectée paraît favoriser la première hypothèse mais il est sans doute trop tôt pour éliminer définitivement les coalescences. Certains auteurs pensent par exemple que les sursauts les plus courts dont aucune contrepartie optique n'a été détectée jusqu'ici pourraient provenir de coalescences et les sursauts longs de l'effondrement d'étoiles massives.

La production du vent relativiste

On a vu comment les contraintes de base sur les modèles de sursaut γ imposent la présence d'un vent relativiste transportant de très grandes quantités d'énergie. L'objet résultant de la coalescence de deux étoiles à neutrons ou de l'effondrement d'une étoile massive est-il capable de satisfaire de telles contraintes ? Tout d'abord l'énergie disponible est-elle suffisante ? Celle-ci peut provenir de deux sources diffé-

rentes : de l'accrétion de la matière du disque par le trou noir, ou de la rotation du trou noir lui-même si celui-ci possède un moment angulaire J_{TN} non nul. Dans le premier cas, et en désignant par $\dot{M}$ le débit d'accrétion (kg.s^{-1}) de la matière du disque, ou par m_D le taux de cette accrétion en dixième de $M_\odot$ par seconde, la puissance disponible vaut en watt :

$$L_{acc} \sim K \cdot \dot{M} c^2$$

avec K de l'ordre de 0,06 à 0,42
ou encore

$$L_{acc} \sim L \cdot m_D$$

L de l'ordre de 10^{45} à $7 \cdot 10^{45}$

La valeur basse correspond à un trou noir de Schwarzschild (sans rotation) où la dernière orbite stable dans le disque est voisine de 3 rayons gravitationnels

$R_g = 2 G M_{TN} / c^2$ (M_{TN} est la masse du trou noir). La valeur haute s'applique à un trou noir de Kerr extrême pour lequel

$$a = c \cdot J_{TN} / G \cdot (M_{TN})^2 = 1.$$

Si un champ magnétique B intense, prenant sa source dans le disque, traverse l'horizon, l'effet Blandford-Znajek fournit un moyen de freiner la rotation du trou noir et de rayonner l'énergie dissipée. La puissance disponible, en watt, avec B en tesla dans ce second cas est donnée par

$$L_{BZ} \sim 1,4 \cdot 10^{44} a^2 (M_{TN}/5 M_\odot)^2 (B/10^{11})^2$$

Les incertitudes, d'une part sur l'efficacité de la conversion de l'énergie disponible en photons γ , et d'autre part sur la focalisation du vent relativiste, ne permettent pas de s'assurer que l'accrétion, ou l'effet Blandford-Znajek, peuvent expliquer les sursauts γ . En tout état de cause, des taux d'accrétion dépassant $0,1 M_\odot / \text{s}$ ou des valeurs de a et du champ magnétique supérieures respectivement à 0,5 et 10^{11} T apparaissent nécessaires !

La seconde étape consiste à communiquer cette énergie à une quantité suffisamment faible de matière pour permettre au vent de devenir relativiste. Le facteur de Lorentz final de l'écoulement est en effet donné par

$$\Gamma \sim L / M_V c^2$$

où $\dot{M}_V$ est le débit de masse injecté dans le vent. Quelques idées ont été proposées permettant de limiter au maximum la "pollution baryonique" du vent mais aucune n'apparaît aujourd'hui pleinement convaincante. Les calculs les plus détaillés ont été faits dans le cas où le disque en rotation différentielle, chauffé par dissipation visqueuse, se refroidit en émettant en abondance des paires neutrino-antineutrino. Lesquelles s'annihilent le long de l'axe du système et injectent de l'énergie dans une zone vidée de matière par effet centrifuge. La principale difficulté réside ici dans la très faible efficacité du processus qui n'excède pas un pour cent. D'autres suggestions invoquent la présence d'un champ magnétique dans le disque, amplifié par la rotation différentielle jusqu'à des valeurs pouvant dépasser 10^{11} T. Le vent relativiste serait alors produit par l'accélération de la matière guidée le long des lignes de champ (vent magnéto-hydro-dynamique : MHD). L'effet Blandford-Znajek correspond au même type de processus avec cette fois le champ magnétique ancré dans le trou noir.

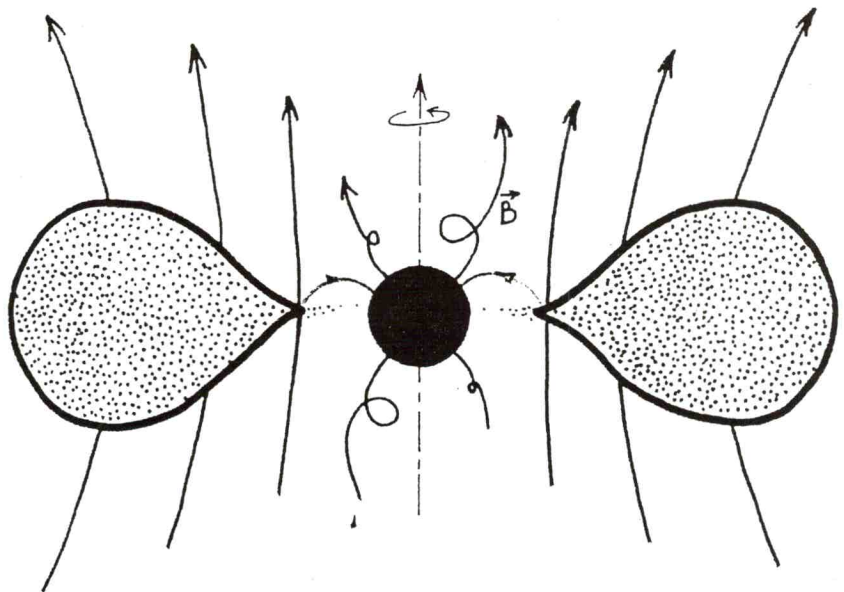


Figure 5 : Magnétosphère d'un système trou noir - disque.

Des lignes de champ magnétique relient le disque au trou noir. D'autres lignes, issues du trou noir s'échappent à l'infini. C'est le long de ces lignes que s'écoule l'énergie provenant du processus de Blandford-Znajek.

Ces différentes propositions (auxquelles s'ajoutent plusieurs autres non présentées ici) n'ont pas fait l'objet de développements suffisamment complets pour qu'il soit possible d'être certain que l'une d'elles est véritablement capable de générer le vent relativiste. Il n'en reste pas moins vrai que son existence est avérée par les observations radio de GRB 970508 et nécessaire pour résoudre le problème de compacité de la source.

La production du sursaut γ

Malgré les difficultés qui viennent d'être rappelées, les modèles d'émission pour les sursauts γ partent du principe qu'un vent relativiste est effectivement produit par la source. L'énergie libérée, injectée dans le vent, s'y trouve donc stockée sous forme cinétique. Elle va ensuite être restituée (avec une plus ou moins grande efficacité) sous forme de rayonnement, par dissipation dans des ondes de choc se produisant à l'intérieur même du vent ou dans sa collision avec le milieu environnant.

Dans le scénario le plus étudié, les chocs internes sont à l'origine de l'émission γ du sursaut alors que l'interaction avec le milieu extérieur explique les contreparties à plus basse énergie (les "afterglows"). Les chocs internes ne sont possibles que si la distribution du facteur de Lorentz Γ dans le vent n'est pas uniforme. Il s'agit là d'une hypothèse vraisemblable car la pollution baryonique, qui fixe la valeur de Γ , est particulièrement sensible à la valeur des paramètres physiques du disque qui peuvent varier sur de très courtes échelles de temps. Les couches de facteur de Lorentz élevé rattrapent alors celles de facteur de Lorentz plus faible, ce qui conduit à une série de chocs qui se poursuivent jusqu'à ce que le vent se soit ordonné avec Γ croissant de l'arrière vers l'avant. Pour illustrer le processus à l'oeuvre, il est instructif de se limiter à deux couches de masses m identiques et de facteurs de Lorentz respectifs $\Gamma_1 = 400$ et $\Gamma_2 = 100$ produites à des temps séparés par un intervalle Δt . Elles se rattrapent à une distance (en mètre) de la source :

$$R = c \Delta t / (v_1 - v_2) \\ = (2 \Gamma_1^2 \Gamma_2^2) / (\Gamma_1^2 - \Gamma_2^2) c \Delta t \\ \sim 6.10^{13} (\Delta t / 10s)$$

et les effets de la collision peuvent être appréciés en supposant qu'elles fusionnent pour donner une couche unique de masse $2m$ dont le facteur de Lorentz résultant vaut

$$\Gamma_r = \sqrt{\Gamma_1 \Gamma_2} \sim 200$$

L'énergie dissipée dans la collision (dans le repère fixe) et l'efficacité ϕ correspondante peuvent alors être calculées :

$$E_{\text{diss}} = (\Gamma_1 + \Gamma_2 - 2\sqrt{\Gamma_1 \Gamma_2}) mc^2$$

$$\phi = E_{\text{diss}} / ((\Gamma_1 + \Gamma_2) mc^2)$$

ce qui pour les valeurs de Γ_1 et Γ_2 adoptées conduit à une efficacité de 20 %.

La couche émettrice étant animée d'un mouvement relativiste de facteur de Lorentz Γ_r , le rayonnement reçu par l'observateur est focalisé dans un angle d'ouverture $\theta = 1 / \Gamma_r$. Si le processus d'émission est suffisamment rapide, ce sont des considérations purement géométriques liées aux différences de temps d'arrivée de photons émis à partir d'une coquille sphérique d'ouverture

θ qui fixent la durée de réception du signal : $\tau \sim R / (2c \Gamma_r^2) \sim (\Gamma_2 / \Gamma_1) \Delta t$ qui est donc voisine du temps Δt séparant les deux couches à l'émission.

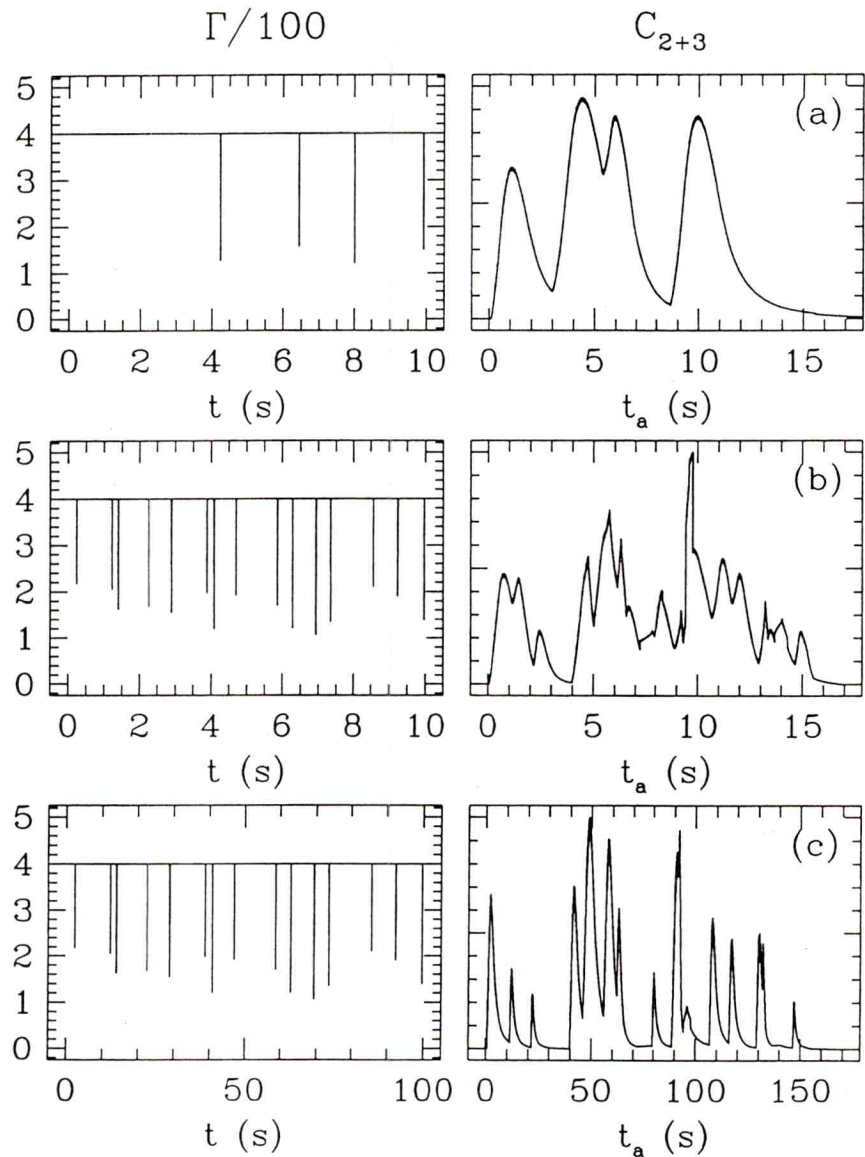


Figure 6 : Profils synthétiques de sursauts obtenus dans le cadre du modèle des chocs internes.

Cette figure montre trois exemples de sursauts synthétiques. La partie gauche présente la distribution du facteur de Lorentz dans le vent relativiste. La durée d'injection est de 10 ou 100 secondes. Le vent est caractérisé par un facteur de Lorentz d'ensemble égal à 400 mais contient 4 (cas a) ou 15 (cas b et c) couches plus lentes de facteur de Lorentz compris entre 100 et 300 (la distribution du facteur de Lorentz dans les cas b et c est identique avec simplement une échelle de temps dix fois plus longue en c). Les parties rapides du vent sont freinées par les couches lentes et l'énergie dissipée, probablement rayonnée par effet synchrotron, produit les profils représentés sur le côté droit de la figure. Ces profils sont calculés dans les bandes 2 et 3 de l'expérience BATSE c'est à dire entre 50 et 300 keV. L'accord entre ces profils synthétiques et les observations apparaît satisfaisant.

Dans les modèles les plus simples l'énergie dissipée est rayonnée par effet synchrotron des électrons accélérés derrière l'onde de choc. Des sursauts synthétiques peuvent alors être construits en suivant l'évolution d'un système constitué d'un grand nombre de couches et en additionnant les contributions de toutes les collisions élémentaires.

La validité de cette approche simplifiée qui limite aux chocs l'interaction entre couches et néglige toutes les ondes de pression parcourant le vent a été confirmée à l'aide de modèles hydrodynamiques relativistes détaillés, mais aussi beaucoup plus complexes à mettre en oeuvre.

Quelques sursauts synthétiques obtenus par cette méthode sont représentés Fig. 6. En jouant sur la distribution initiale du facteur de Lorentz dans le vent, il est possible de générer une grande variété de profils temporels. Les pulses individuels ont bien la forme observée avec une montée rapide et une descente quasi-exponentielle. Les propriétés spectrales et leur relation avec les propriétés temporelles (relation durée-dureté, profils des pulses en fonction de l'énergie, etc...) sont aussi convenablement reproduites par le modèle. A ce jour l'hypothèse des chocs internes est la seule capable d'expliquer autant de caractéristiques observées des sursauts. Elle pose cependant le problème d'une efficacité d'ensemble assez faible, de l'ordre de 10% pour la conversion de l'énergie cinétique du vent en rayonnement γ . La comparaison des puissances disponibles par accréation ou effet Blandford-Znajek avec l'énergie γ reçue des sursauts de décalage z connu montre alors que dans les cas les plus extrêmes une focalisation importante $\Omega / 4\pi \sim 0,01$ est nécessaire.

Le choc externe et l'origine des contreparties à basse énergie.

L'évolution dynamique du vent ne se termine pas avec la séquence des chocs internes. Le gaz éjecté va en effet interagir avec son environnement qui va le freiner progressivement. Ce processus est bien connu dans le cadre de

l'étude des restes de supernovae. Une onde de choc "avant" se propage dans le milieu interstellaire alors qu'un choc "en retour" balaye le gaz éjecté. Dans le cas des sursauts γ , le scénario est identique mais l'onde de choc et la matière se déplacent initialement à vitesses relativistes.

La décélération commence à se faire sentir quand la masse balayée par le vent atteint $M_V / \Gamma_0 = E / (\Gamma_0^2 c^2)$ où M_V est la masse totale du vent, E son énergie et Γ_0 son facteur de Lorentz initial.

Ceci conduit à définir le rayon de décélération (en m) :

$$R_{\text{dec}} \sim 10^{15} (E / 10^{46} \text{ J})^{1/3} (n / (1 \text{ part. / cm}^3))^{-1/3} (\Gamma_0 / 100)^{-2/3}$$

où n est la densité (en atomes d'hydrogène par cm^3) du milieu environnant. Le rayon de décélération est en général supérieur au rayon typique pour lequel se produisent les chocs internes sauf si le milieu extérieur est très dense ou le sursaut particulièrement long.

Au delà de R_{dec} l'évolution du facteur de Lorentz du vent obéit à des lois simples d'autosimilarité (comme dans le cas classique où une solution célèbre du problème a été donnée par le physicien russe Sedov dans les années cinquante). En particulier le facteur de Lorentz de l'onde de choc "avant" décroît en loi de puissance

$$\Gamma / \Gamma_0 = (R / R_{\text{dec}})^{-3/2} = (t / t_{\text{dec}})^{-3/8}$$

où t et $t_{\text{dec}} = R_{\text{dec}} / c \Gamma_0^2$ représentent des temps mesurés par l'observateur. Ces expressions montrent que le gaz cesse d'être relativiste quand R atteint quelques dizaines de R_{dec} au bout d'un an environ. Derrière l'onde de choc apparaissent un champ magnétique et une population d'électrons accélérés susceptibles de produire un rayonnement synchrotron. Moyennant quelques hypothèses simples, l'intensité du champ et le facteur de Lorentz caractéristique Γ_e des électrons sont proportionnels au facteur de Lorentz de l'onde de choc de sorte que l'énergie typique du rayonnement observé

$$E_{\text{syn}} \propto \Gamma \times B \Gamma_e^2 \propto \Gamma^4 \propto t^{-3/2}$$

diminue avec le temps conformément aux observations. Dans les premières minutes l'afterglow est dans le domaine X puis passe dans le visible en quelques heures pour atteindre le domaine radio au bout de quelques semaines.

La théorie prédit aussi que le flux décroît en loi de puissance, à nouveau en accord avec les observations $F \propto t^{-x}$ avec $x = (3/4)(p-1)$ où p est l'indice spectral de la population d'électrons accélérés ($N(\Gamma_e) \propto \Gamma_e^{-p}$). Les valeurs observées de x entre 1 et 1,5 conduisent donc à fixer p entre 2,3 et 3.

L'étude des contreparties optiques pourrait également permettre d'accéder à un paramètre capital du sursaut, l'angle solide Ω dans lequel le vent est produit. La focalisation relativiste limite en effet le rayonnement reçu par l'observateur à un cône d'ouverture $1/\Gamma$ où Γ est le facteur de Lorentz du gaz. Le ralentissement du vent diminue Γ et permet peu à peu d'accéder à une plus grande fraction de la coquille émettrice. Si celle-ci est elle-même physiquement contenue dans un cône d'angle solide Ω (d'ouverture θ) le comportement de l'afterglow changera au moment où $1/\Gamma$ deviendra supérieur à θ . Une cassure est en particulier prévue dans l'évolution temporelle qui devient alors plus rapide. Dans un petit nombre de sursauts une cassure a été effectivement observée après un temps t_c voisin du jour, fixant l'angle d'ouverture θ à une valeur assez petite

$$\theta \sim 7,5^\circ (E / 10^{46} \text{ J})^{-1/8} (n / (1 \text{ part./cm}^3))^{1/8} (t_c / 1 \text{ jour})^{3/8}$$

Cependant la majorité des sursauts ne montrent pas de cassure, même après plusieurs semaines ce qui indique qu'en général le vent est peu confiné.

Perspectives

La période actuelle correspond à un âge d'or de l'étude des sursauts où l'afflux de données d'observation a fait faire d'importants progrès à la compréhension de ces objets extraordinaires. Cependant de nombreux mystères demeurent. Ainsi, il n'existe aucune véritable certitude sur la nature des sources à l'origine des sursauts (coalescence d'objets compacts, effondrement d'étoiles massives...).

Peut-être sera-t-il nécessaire d'avoir recours à plusieurs populations pour rendre compte séparément des sursauts longs et des sursauts courts. La production du vent relativiste reste de même un problème encore très mal compris.

C'est pour tenter de répondre à certaines de ces interrogations que les astrophysiciens ont conçu de nouveaux instruments emportés par les missions spatiales HETE-2 et SWIFT ou les télescopes automatiques TAROT, ROTSE-2 et SUPER-LOTIS.

Ces programmes visent principalement deux objectifs qui sont, d'une part l'observation de l'émission des sursauts dans une large gamme spectrale (visible, X, γ), et d'autre part la connaissance des distances et de l'environnement de plusieurs centaines de sursauts afin de mieux cerner leur origine.

Le premier objectif est étroitement lié aux questions sur la physique de l'émission et la nature des sources. Il est l'une des priorités du satellite HETE-2 (lancé en Octobre 2000) et des télescopes automatiques comme TAROT.

Le second objectif, pour lequel la mission SWIFT a été conçue, permettra d'utiliser les sursauts comme sondes cosmologiques pour nous aider à mieux comprendre les premières phases de la vie des étoiles et des galaxies.

HETE-2 est un petit satellite sous maîtrise d'oeuvre du Massachusetts Institute of Technology (U.S.A.), qui

est équipé d'un spectromètre γ (réalisé au CESR à Toulouse) et de deux caméras à rayons X (fournies par RIKEN au Japon et le MIT).

Ces détecteurs à grand champ de vue permettent de surveiller un cinquième du ciel environ pour y détecter les sursauts et mesurer leur émission en rayons X et γ .

Les caméras X calculent la position précise du sursaut sur le ciel (à quelques minutes d'arc près) et HETE-2 commence à diffuser cette information, quelques secondes seulement après le début de l'alerte sursaut.

Sur Terre, un anneau de 10 stations de réception situées tout autour de l'équateur (donc directement à la verticale de l'orbite du satellite qui tourne à 600 km d'altitude) garde un contact permanent avec HETE-2 et relaie les positions aux observatoires du monde entier grâce au réseau Internet.

TAROT est un télescope automatique de 25 cm de diamètre qui est installé sur le plateau du Calern au dessus de Grasse et dont la maîtrise d'oeuvre est assurée par le CESR. La caméra CCD dont il est équipé lui permet de détecter des astres de magnitude 17 en seulement 10 secondes de temps de pose. Son champ de vue de 2° est largement suffisant pour couvrir l'incertitude des positions de HETE-2.

Lorsqu'un sursaut détecté par HETE-2 est dans la zone du ciel accessible à TAROT, celui-ci se pointe vers la région concernée en moins de 2 secondes et commence à prendre des images du ciel. TAROT n'est pas unique puisque deux télescopes similaires sont installés aux Etats-Unis (ROTSE-2 et SUPER-LOTIS).

Cette combinaison d'instruments spatiaux et au sol est une première. Elle a été mise en place par les astronomes pour leur fournir une couverture précoce de l'émission du sursaut dans un grand domaine de longueur d'onde. Lorsque l'émission visible d'un sursaut est détectée, TAROT calcule sa position avec une précision de $1''$, bien supérieure à celle de HETE-2.

Des télescopes plus puissants peuvent alors être pointés en direction de la source afin de faire le spectre de l'émission retardée (et donc de déterminer la distance si des raies sont observées) tant que celle-ci est encore assez

brillante, c'est à dire typiquement dans les premiers jours suivant le sursaut.

L'objectif de la mission SWIFT de la NASA est plus ambitieux encore puisque ce satellite devrait réaliser l'observation rapide de l'émission visible, X et γ de plus d'une centaine de sursauts par an.

De façon semblable à HETE-2, ce satellite emportera trois instruments : un imageur γ , un télescope à rayons X et un télescope dans le domaine visible.

Alors que les instruments de HETE-2 ont tous un grand champ de vue, et donc une sensibilité limitée, les deux télescopes de SWIFT (X et visible) auront un champ de vue réduit et une très bonne sensibilité. SWIFT fonctionnera de la façon suivante : l'imageur γ détectera et localisera les sursauts, puis le satellite tout entier pointera en une minute ses télescopes visible et X en direction des sursauts détectés. SWIFT permettra alors de suivre en détail l'émission depuis les premières minutes jusqu'à plusieurs heures après l'évènement.

Avec le lancement de SWIFT, les astronomes disposeront donc en 2004 d'un outil exceptionnel pour appréhender la nature des sursauts et étudier grâce à eux la formation d'étoiles et l'évolution des galaxies aux époques reculées de l'Univers.

Le développement de modèles théoriques de plus en plus détaillés et sophistiqués, allié aux données d'observation d'instruments sensibles couvrant presque tout le spectre électromagnétique, devrait ainsi bientôt permettre de mieux comprendre et d'exploiter toute la richesse physique et astrophysique des sursauts γ .

Mais, comme les années passées nous l'ont appris, gageons aussi qu'il faut s'attendre à quelques surprises...

NDLR :

1 - en dynamique relativiste, le facteur de Lorentz est $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$
où $\beta = v / c$

Sites WEB :

HETE2 : <http://space.mit.edu/HETE/>
TAROT et les sursauts gamma : <http://tarot.cesr.fr/>



Jeux de réseau et mystère des nébuleuses...

Pierre Le Fur

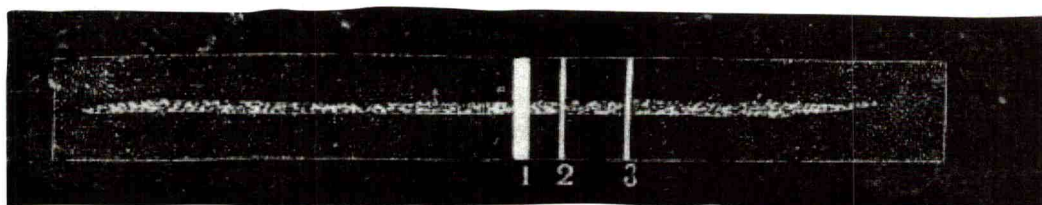
I - Le mystère du spectre des étoiles nébuleuses

L'histoire des sciences constitue une mine inépuisable de prétextes à initier des réflexions scientifiques de la part des générations montantes, car "le néophyte doit devenir un héritier pour que sa capacité à innover prenne corps" écrit le philosophe A. Finkelkraut.

Alors en feuilletant au hasard un ouvrage de l'astronome jésuite Angelo Secchi, directeur de l'observatoire du Collège Romain, "les étoiles" publié en

1895, une petite phrase de la troisième partie intitulée "les nébulosités" retient notre attention :

"C'est là une des plus importantes révélations que la science doive au spectroscopie ; elle suffirait à rendre immortel l'auteur de cette découverte, M. Huggins" [1]. Accompagnant ce texte, une gravure (fig.1) présente un "spectre des étoiles nébuleuses".



F.g. 30 – Spectre des étoiles nébuleuses.

Fig.1 : extrait de l'ouvrage de Secchi : spectre obtenu par M. Huggins en 1864

De quelle découverte primordiale s'agit-il ? Qu'entend Secchi par étoile nébuleuse ? Comment l'obtention d'un tel spectre est-elle possible ?

Recherchons dans notre dictionnaire le nom de ce Huggins, scientifique dont les travaux sont si importants au

regard du célèbre Secchi.

Quelles indications obtient-on ?

Alors, pour mettre en place les idées permettant de répondre à cette énigme historico-scientifique, initiions-nous à la spectroscopie.

II - Spectroscopie de la lumière d'une étoile

Quelle étoile brûle au-dessus de nos têtes pendant les heures de cours ? C'est le Soleil.

Proposons un montage permettant de disperser sa lumière sans difficultés expérimentales. Réunissons le matériel nécessaire constitué par un tube à essai et du papier noir, un réseau type CLEA (740 traits/mm), des sacs poubelles noirs et du ruban adhésif.

Plaçons le tube à essai retourné, dont l'intérieur est garni par le "Canson" noir, sur un support orientable. Ici c'est une

boîte de conserve orientée par des cales en bois et contenant du sable dans lequel est planté le tube retourné (fig.2). Le soleil se reflète sur cette paroi de verre cylindrique qui produit une image de notre étoile sous la forme d'un trait. Observons ce trait lumineux au travers du réseau et immédiatement le spectre solaire apparaît à l'observateur. Le spectre ainsi obtenu n'est pas contrasté et se confond avec l'arrière plan du lieu où se situe le tube. Aussi la présence d'un fond noir fixé au mur en arrière du tube de verre et l'adjonction d'un tube carton noir au réseau suppriment les difficultés énoncées. On prend soin d'orienter les traits du réseau parallèlement au segment-reflet du soleil (fig.3).



Fig.2 : tube à essai retourné, reflétant le soleil



Fig.3 : au premier plan, tube de carton avec réseau, orienté vers la source lumineuse

On peut même réaliser des photographies en utilisant un appareil reflex conventionnel équipé d'une pellicule couleur (fig. 4) ou d'un numérique (fig. 5). Notons qu'avec l'appareil numérique que nous avons essayé (Kodak DC 200), les réglages de luminosité, la faible focale (35 mm), et sa résolution (1152 x 864 pixels) n'ont permis la saisie que d'un

groupe de raies dans le bleu-violet. Le 24 x 36 équipé d'un téléobjectif de 70 mm associé à un réseau de 660 traits /mm donne un grand nombre de raies toutes identifiables. On peut y retrouver les raies de l'hydrogène, comme exposé dans un précédent article [2].

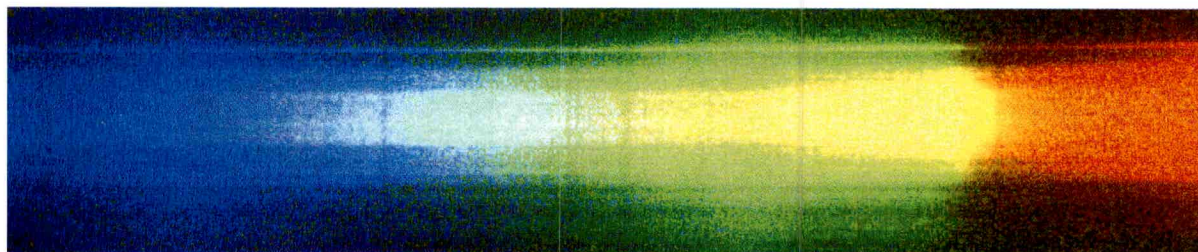


Fig.4 : spectre solaire obtenu avec un appareil reflex 24x36 équipé d'une pellicule Kodak Ektachrome



Fig.5 : spectre solaire obtenu avec un appareil numérique simple Kodak DC 200 ; on remarque le doublet du calcium dans le bleu

On notera que notre spectroscopie de fortune ne contient aucune fente source, toujours délicate à réaliser et à régler, fidèle en cela à la méthode du premier des spectroscopistes stellaires, Fraunhofer qui, pour ces observations d'astres peu lumineux, avait recours à des lentilles cylindriques pour obtenir une source rectiligne (sans fente) avant dispersion par le prisme [3] afin d'éviter les pertes lumineuses.

Ces premiers résultats nous initient à l'aspect d'un spectre stellaire classique : un fond continu constituant un magnifique arc-en-ciel se trouve strié par des raies d'absorption, véritable code-barre représentatif des éléments de la source lumineuse et de son état physique.

Le Père Secchi l'exprime poétiquement en écrivant : "c'est la lumière, cette active voyageuse, qui, des profondeurs de l'espace, nous apporte ces renseignements précieux" [4].

Nous admettons donc comme les travaux de Secchi (plus de 4000 étoiles spectroscopées) et de bien d'autres l'ont montré, que ce spectre solaire représente le type même d'un spectre classique d'étoile : fond continu + spectre d'absorption.

III - Spectroscopie d'un nuage de gaz atomique excité :

En plus des étoiles ou des planètes, de grands nuages de gaz constitués d'atomes peuvent exister dans l'espace. Le grand Laplace lui-même utilisa cette idée pour inventer le modèle de formation du système solaire et de son soleil qu'il présenta à Napoléon. Un tel nuage peut-il émettre de la lumière ? Y aurait-il dans notre environnement quotidien un objet se rapprochant de ce concept ? Quel serait le spectre de sa lumière ?

Admettons qu'une lampe à vapeur de mercure, utilisée pour éclairer la voirie, répond à peu près à cette définition : elle est en effet constituée d'une ampoule contenant du mercure vapeur atomique, excité par une décharge électrique permanente.

Observons maintenant le spectre de la lumière d'un éclairage de rue à l'aide de notre réseau. Un léger fond continu apparaît mais quatre "raies" brillantes (dites en émission) dominent l'ensemble.



Fig.6 : de la gauche vers la droite : lampe de voirie à vapeur de sodium, puis spectre d'ordre 1 (surexposé) et enfin spectre d'ordre 2 (sous une fenêtre éclairée)

L'étude de la photographie obtenue avec un appareil réflexe monté sur un support fixe et un réseau 300 traits /mm placé devant l'objectif de 50 mm en atteste. Ce cliché (fig. 6) obtenu l'hiver vers 18 h par des élèves de première littéraire révèle le spectre d'émission de l'élément mercure (code-barre /raies à 579, 546, 436 et 405 nm de longueurs d'onde) [2].

On notera qu'il n'est pas nécessaire de disposer de lampe

spectrale basse pression pour faire cette observation et qu'elle est réalisable l'hiver pendant les heures d'ouverture des établissements scolaires quelle que soit la "météo".

Nous admettons que ce spectre d'émission représente le type même d'un spectre classique d'un nuage atomique excité ou "gaz lumineux" : fond continu faible ou inexistant + spectre d'émission.

IV - La question de la nature des nébuleuses

Depuis la nuit des temps, les hommes ont remarqué des objets "nébuleux" dans le ciel, autres que les étoiles ou planètes. Le premier d'entre eux est la Voie lactée dont la consistance a alimenté bien des légendes ou des hypothèses. Au début du 17^{ème} siècle, Galilée et sa lunette montrèrent qu'elle était entièrement composée d'étoiles. En un instant "une infinité de questions agitées depuis des siècles au sujet de cette mystérieuse nébulosité se trouvaient résolues" [5].



Fig. 7 : "nébuleuse" M 92 résolue en étoiles

Fig. 7 et 8 : observations visuelles par l'auteur au télescope de 100 mm (magnitudes respectives 6 et 8,8). Pour la figure 8, le point d'interrogation désigne une étoile surnuméraire par rapport à l'observation à faible grossissement, la nébuleuse étant l'astre ("étoile-nébuleuse") situé en bas, de diamètre apparent non négligeable, à 112,5 fois.

On sait actuellement que M 92 est un amas globulaire et que NGC 6543 est une nébuleuse planétaire...

"L'agrandissement continu de la puissance télescopique n'a pas donné à la science le dernier mot du problème des nébuleuses, car à mesure que les instruments d'optique devenaient plus immenses et plus pénétrants et permettaient de résoudre en étoiles un plus grand nombre de ces nuées, ils amenaient la découverte de nébulosités plus pâles et plus lointaines, et l'on voyait apparaître ces formes fantastiques, ces agrégats de lumière diffuse qui ne semblaient point dus à de véritables amas de soleils innombrables situés à des

Mais d'autres nébulosités, découvertes avec les instruments, comme la grande nébuleuse d'Orion observée par Peiresc, humaniste provençal contemporain de Galilée, ne purent être résolues en étoiles.

Les astronomes amateurs contemporains connaissent bien les objets de Messier pour savoir qu'avec une optique suffisamment puissante certains peuvent être "résolus en étoiles" comme M 92 (fig.7). D'autres restent nébuleux malgré l'accroissement du grossissement comme cette nébuleuse planétaire du Dragon NGC 6543 (fig. 8).

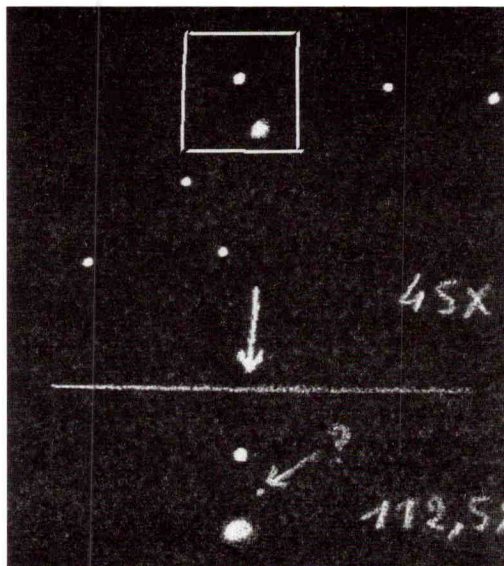


Fig. 8 : "nébuleuse" NGC 6543 non résolue

distances de plus en plus inaccessibles", nous explique avec enthousiasme Camille Flammarion [6] dans son ouvrage "les étoiles" de 1882.

V - La découverte d'Huggins

Revenons à l'énigmatique phrase de Secchi, contemporain de Flammarion.

Que pensez-vous du terme étoile nébuleuse ?

Le spectre obtenu (fig. 1) par l'astronome anglais Huggins en 1864 présente-t-il des raies d'absorption ou d'émission ?

Que peut-on conclure quant à la nature de cette source lumineuse particulière qui n'est autre que celle représentée figure 8, dans la constellation du Dragon ?

Pensez vous qu'on puisse résoudre en étoiles cette "nébuleuse" ?

Quelle grande découverte doit-on à Huggins ?

VI - Epilogue

Flammarion précise [7] comment, dès l'obtention de ces premiers spectres de nébuleuses gazeuses, on a cherché à connaître la nature chimique des gaz les constituant.

"Mais la raie moyenne du groupe des trois lignes qui forment le spectre de la nébuleuse n'a son identique dans aucune des raies intenses des spectres des éléments terrestres connus" [8], les autres (raies 1 et 3 fig. 1) étant identifiées comme celles de l'azote et de l'hydrogène [7,8], une nouvelle question se posait pour expliquer l'origine de ces raies "interdites".

Il reprend plus loin : "Le résultat nouveau et inattendu auquel venait de conduire l'analyse spectroscopique de cette nébuleuse frappa de surprise les astronomes et les engagea à étudier attentivement les autres créations analogues qui sont disséminées dans l'étendue des cieux. Le résultat de cette analyse a été qu'un grand nombre de nébuleuses sont constituées de véritables gaz, de gaz flamboyants visibles à des milliers de milliards de lieues d'ici."

Ce qui autorise le père Secchi à classer les nébulosités en groupe stellaires, résolus ou non, et en nébuleuses gazeuses [9].

Je laisse à votre réflexion quelques lignes supplémentaires, inspirées par les idées de William Herschell, écrites par Flammarion [10] au sujet de cette nébuleuse planétaire du Dragon, spectroscopée par Huggins : "Lors donc que nous observons cette pâle nébuleuse bleuâtre située au pôle de l'écliptique, nous savons que c'est là un amas de matière gazeuse incandescente, déjà muni d'un noyau central de condensation, et nous devinons dans cette lueur lointaine l'ardente genèse d'un nouveau monde. Nous assistons d'ici à la création ... ! Là brille déjà un embryon de soleil ; là se prépare un système planétaire. Que dis-je ! Le rayon lumineux qui nous arrive en ce moment de cette région de l'infini en est peut-être parti il y a plusieurs millions d'années, et peut-être qu'en ce moment une ou plusieurs planètes sont déjà formées, fécondées, habitées, et peut-être qu'il y a là aussi des yeux qui nous contemplent et pour lesquels notre histoire étant également en retard de plusieurs millions d'années, notre système solaire n'est encore qu'une nébuleuse vue justement de face..."

Deux affirmations de Flammarion sont erronées au regard des connaissances actuelles sur les nébuleuses planétaires. Lesquelles ?

Mais je ne résiste pas à vous faire lire la suite de ce paragraphe : "...ils se demandent si un jour notre nébuleuse deviendra soleil et planètes et ne se doutent pas que nous existons déjà et que nous pourrions leur répondre ! Voix du passé, vous devenez maintenant les paroles de l'avenir, tandis que le présent, l'actuel, disparaît pour les regards échangés à travers les cieux, à travers l'infini, à travers l'éternité !

Que dire de plus ? Sinon merci à Camille Flammarion et Angelo Secchi pour cet hommage à Huggins.

Bibliographie :

- [1] Père A. Secchi dans "Les étoiles", tome second 3ème édition, p 19, bibliothèque scientifique internationale, éditeur Félix Alcan, Paris 1895.
- [2] P. Le Fur, bulletin de l'Union des Physiciens n°726 p 899.
- [3] Père A. Secchi idem, tome premier, p 69.
- [4] Père A. Secchi idem, tome premier, p 68.
- [5] Père A. Secchi dans "Les étoiles", tome second 3ème édition, p 19, bibliothèque scientifique internationale, éditeur Félix Alcan, Paris 1895.
- [6] Camille Flammarion, "Les étoiles" p 33, chez Marpon et Flammarion éditeurs, Paris 1882.
- [7] Camille Flammarion, idem p 34
- [8] Père A. Secchi dans "Les étoiles", tome second, 3ème édition, p 17, bibliothèque scientifique internationale, éditeur Félix Alcan, Paris 1895.
- [9] Père A. Secchi idem, tome second, p 1-29.
- [10] Camille Flammarion, idem p 34-35.

Ne tardez pas à vous réabonner,
en utilisant le bulletin de réabonnement ci-joint.
Cela épargnera du travail à
Dominique Balin, Jacky Dupré et Béatrice Sandré.



A propos des itinéraires de découverte

Ressources documentaires du CLEA

Lucienne Gouguenheim

L'une des difficultés rencontrées par les enseignants dans les itinéraires de découverte réside dans la recherche de sources documentaires fiables et adaptées. On peut passer beaucoup de temps à parcourir les sites internet, à accumuler des documents sans être assuré pour autant de leur qualité ni de leur pertinence.

L'expérience vécue depuis cet été, d'abord au cours de l'école d'été du CLEA, puis des stages académiques auxquels j'ai participé, m'ont conduite à me replonger dans nos publications (Cahiers Clairaut, fiches pédagogiques, diapositives, transparents animés, cédérom, site internet) et à y redécouvrir une mine d'informations ; il me semble qu'il serait utile de les signaler aux collègues qui entreprennent des IDD à coloration astronomique.

Ce qui est présenté ici est un simple exemple, loin d'être exhaustif, à propos de deux thèmes astronomiques tels qu'ils apparaissent dans le document d'accompagnement pour la préparation des itinéraires de découverte : "la mesure du temps : les calendriers" (domaine : création et techniques, en classe de 5ème) et "Lire le ciel" (domaine : nature et corps humain, en classe de cinquième).

1- Les calendriers :

Ce thème concerne en premier lieu les

mathématiques ; il associe la technologie par la rubrique "étude et réalisation d'un prototype" et l'histoire (étude du Moyen Age européen à partir d'approches culturelles du monde chrétien et musulman) ; il peut associer la physique, par des considérations sur le phénomène des saisons.

Trois fiches pédagogiques du HS 3 (Temps et constellation - niveau Lycée) :

"A la recherche du temps...",

"...Le temps trouvé" et

"Le calendrier perpétuel" ainsi que le Cours C2bis "Le calendrier" publié dans le compte-rendu de l'université d'été 1998, (accessible sur le site internet et sur le

cédérom CLEA) fournissent de bonnes bases de connaissances, des documents pouvant être sélectionnés pour les élèves et des pistes de travail.

On y trouve aussi les principes du calendrier perpétuel, simplement exposés (reproduits ci-après), et les détails de la réalisation pratique d'un calculateur en carton. Cette réalisation, conçue pour des élèves de première littéraire,

peut être adaptée à des élèves plus jeunes, en particulier en fournissant d'emblée les réponses à certaines questions posées concernant la graduation des disques, et en répartissant le travail de réalisation à l'intérieur d'un groupe.

La fiche pédagogique : "Le jour, la nuit, les saisons " (HS1) présente, pour l'école élémentaire, un travail à partir du calendrier de la Poste ; une adaptation est proposée sur le

Principe du calendrier perpétuel

On attribue à chaque jour de la semaine un nombre allant de 0 à 6 :

dimanche	lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi	samedi
0	1	2	3	4	5	6

On part d'une date donnée dont le jour est connu : pour arriver à la date dont on cherche le jour, on compte le décalage en nombre de multiples de 7 + un reste. On utilise les décalages dus à des mois entiers et à des années entières.

Pour un décalage de 28 jours plus tard :	ajouter 0
Pour un décalage de 29 jours plus tard :	ajouter 1
Pour un décalage de 30 jours plus tard :	ajouter 2
Pour un décalage de 31 jours plus tard :	ajouter 3
Pour un décalage d'une année de 365 jours plus tard :	ajouter 1
Pour un décalage d'une année de 366 jours plus tard :	ajouter 2

1er exemple :

Un mois commence un jeudi : par quel jour commence le mois suivant ?

Réponse : le jeudi est un jour n°4.

S'il s'agit de :	février (année non bissextile) :	$4 + 0 = 4 \rightarrow$ jeudi
	février (année bissextile) :	$4 + 1 = 5 \rightarrow$ vendredi
	un mois de 30 jours :	$4 + 2 = 6 \rightarrow$ samedi
	un mois de 31 jours :	$4 + 3 = 0 \rightarrow$ dimanche

2ème exemple :

Une année commence un mardi : quel jour est le 12 juillet ?

Réponse : le 1er janvier est un mardi, soit un jour n° 2

janvier, mars et mai sont des mois de 31 jours	$\rightarrow$ ajouter $3 \times 3 = 9$
avril et juin sont des mois de 30 jours	$\rightarrow$ ajouter $2 \times 2 = 4$
février (année non bissextile) est un mois de 28 jours	$\rightarrow$ ajouter 0
si l'année est bissextile	$\rightarrow$ ajouter 1

Le 1er juillet est donc un jour $2 + 9 + 4 + 0 = 2 \times 7 + 1$ (année non bissextile), soit un lundi.

Le 12 juillet

$\rightarrow$ ajouter 11 jours après le 1er

juillet

$11 + 1 = 7 + 5$: le 12 juillet est un vendredi si l'année n'est pas bissextile ; et un samedi, si l'année est bissextile

3ème exemple :

Le 1er janvier 1990 était un lundi ; quel jour était le 1er janvier 1900 ?

Réponse : on recule de 90 ans, comprenant 22 années bissextiles (1900 n'était pas bissextile) et 68 années non bissextiles

$\rightarrow$ retirer : $22 \times 2 + 68 \times 1 = 44 + 68 = 112 = 16 \times 7 + 0$

$\rightarrow$ le 1er janvier 1900 était le même jour de la semaine, soit un lundi.

site du CLEA dans la rubrique IDD (compte-rendu de l'école d'été 2002).

En ce qui concerne les fuseaux horaires, la fiche pédagogique "Heure solaire, heure légale, fuseaux horaires" du HS1 et le transparent animé T2 fournissent à la fois le plan de construction d'un calculateur de fuseaux pour le rétro-projecteur, pouvant être adapté à une réalisation en carton par un groupe d'élèves, et un ensemble très riche d'utilisations et d'exercices possibles.

On peut trouver dans les Cahiers Clairaut beaucoup d'articles sur ces thèmes.

Citons, parmi les numéros récents :

- "Le calendrier perpétuel" (CC 91, p. 24), qui propose la construction d'un calculateur très bien adapté aux élèves de collège.

- "Construction et mode d'emploi d'un calendrier perpétuel" (CC 31)

- "Un calendrier perpétuel" (CC 76), qui propose un algorithme.

- "Les maths dans le calendrier : le calendrier perpétuel" (CC 99, cahier pédagogique : p.XV) : pour le prof de math qui veut tout comprendre.

- "Variations de la durée du jour et variations de la température" (CC 93, p. 12 ; travail sur le calendrier de la Poste.

- "Le calendrier religieux musulman et le cadran solaire de la mosquée de Kairouan" (CC 90, p. 2)

- "Une date inhabituelle pour la fête de Pâques" (CC 94, p. 38)

2 - Lire le ciel

Dans ce thème très vaste, le document d'accompagnement des IDD propose des sujets d'étude portant sur : "astrologie et astronomie", "science et mythologie", "cosmogonies".

Différentes associations disciplinaires sont envisageables, selon le thème précis choisi.

Les stagiaires de l'école d'été 2002 avaient proposé plusieurs entrées possibles : étoiles et constellations (représentation, mythologies), la Lune, les planètes, les outils d'observation... On se reportera au site du CLEA pour les propositions concrètes d'IDD intitulées : "les planètes du système solaire", "les éclipses de Lune" et "les satellites de la Terre".

Parmi nos publications, j'ai noté comme me semblant particulièrement bien adaptés aux IDD, quelques documents portant sur les thèmes suivants.

Des ensembles de documents et activités concernant la Lune peuvent être trouvés :

- Dans le compte-rendu de l'Université d'été de 1998 (voir sur le site du CLEA directement ou sur le cédérom),

l'atelier A6 propose la réalisation et l'utilisation de maquettes illustrant les phases de la Lune ;

l'atelier A7, intitulé "la Lune : Mythologie et pédagogie", part d'une légende indienne pour étudier les conditions de visibilité de la Lune sous ses différentes phases ; il propose la construction d'un instrument permettant de mesurer l'élongation de la Lune et celle d'une maquette visualisant la position relative du Soleil, de la Terre et de la Lune, correspondant aux différentes phases.

- Dans les fiches pédagogiques du HS 2 : "La Lune : textes littéraires", "Phases de la Lune", "Les phases de la Lune : Phases et mouvements de la Lune à partir d'un calendrier".

Sur le thème "étoiles, constellations, mythologie, astrologie",

la fiche pédagogique "Une carte du ciel raconte" (HS3) qui est présentée dans une perspective pluridisciplinaire me semble particulièrement bien adaptée. Elle est proposée à des élèves de 1ère L, mais me semble pouvoir facilement s'adapter à des élèves de collège.

On pourra lui adjoindre l'excellente rubrique "Ciel et légendes" du site internet, l'article "Tanabata : Au pays du Soleil Levant" (CC 86, p. 26), la succession d'articles sur "le ciel des bergers catalans" (CC 86, 87, 88) ainsi que la série de diapositives D4 "Constellations".

Cette bibliographie balaye un ensemble large de mythologies

Des IDD peuvent se construire autour du thème des cartes du ciel :

le compte-rendu de l'école d'été 1998 portant sur la carte céleste mobile (dont la construction et l'utilisation sont détaillées dans l'ouvrage CLEA-Belin : "18 fiches pédagogiques" et, de façon plus simplifiée, dans la fiche pédagogique "un plan du ciel simple" du HS 4) présente un commentaire des participants sur l'utilisation qui peut en être faite en quatrième.

La représentation du ciel à 3 dimensions, par le célèbre "parapluie des constellations" (encore appelé "parapluie de Denise" en hommage à Denise Wacheux qui en a fait tous les plans de construction et réalisés les patrons), me semble être une priorité dans la réalisation des prochaines fiches pédagogiques dont le CLEA devrait assurer la diffusion.



Les cartes tournantes du ciel

Pierre Causeret

Tous les observateurs du ciel utilisent ou ont utilisé une carte tournante qui affiche le ciel visible, à cet endroit (latitude donnée) et à cet instant (jour et heure donnée). Ces quelques pages vont essayer d'en expliquer le fonctionnement.

Il est pratique d'imaginer les étoiles sur une sphère entourant l'observateur. Cela correspond à ce que l'on observe, même si ce n'est pas la réalité puisque les distances des étoiles sont très variées (Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel après le Soleil est située à 8,6 années de lumière alors que Deneb de la constellation du Cygne est à plus de 3000 années de lumière...).

Pour représenter cette sphère céleste, il existe une solution très simple : le globe céleste. Malheureusement c'est un peu encombrant et ça n'est pas facile à fabriquer. De plus, il faudrait se placer au centre pour retrouver le ciel vu de la Terre et comme on est obligé de rester à l'extérieur, les constellations sont vues à l'envers !



Ce globe céleste, daté de 1144, est de Yunus Ibn al-Husayn (photo musée du Louvre).

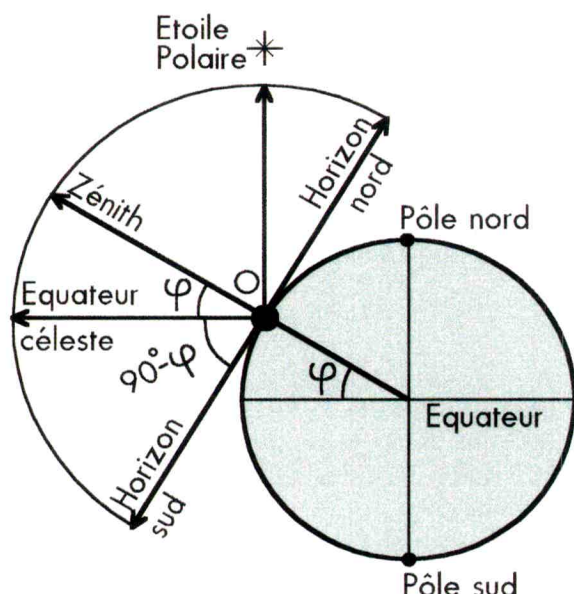
Pour réaliser une carte plane, il faut mettre la sphère à plat, ce qui n'est pas facile. Mais il n'est pas nécessaire de représenter toute la sphère céleste puisque, à nos latitudes, on ne voit jamais certaines parties du ciel situées dans l'hémisphère sud.

Quelle partie du ciel peut-on voir ?

Un jour donné, à une heure donnée, on observe une demi sphère céleste. Depuis chez moi, je vois toujours l'étoile Polaire côté nord. En direction du sud, je peux voir des étoiles situées sous l'équateur céleste, à une déclinaison négative. Rappelons que la déclinaison est, pour les étoiles, l'équivalent de notre latitude sur Terre, et se mesure de -90° (pôle sud céleste) à $+90^\circ$ (pôle nord céleste), le plan de référence étant l'équateur céleste.

Habitant à une latitude ϕ de 47° nord, je peux observer à l'horizon sud des étoiles situées à une déclinaison de -43° ($90^\circ - 47^\circ = 43^\circ$).

Mais la Terre n'est pas fixe. Elle tourne sur elle-même et orbite autour du Soleil. C'est donc plus de la moitié de la sphère céleste qui est observable au cours de l'année. L'observateur situé à une latitude ϕ pourra voir tout le ciel sauf la partie en noir du schéma ci-dessous.

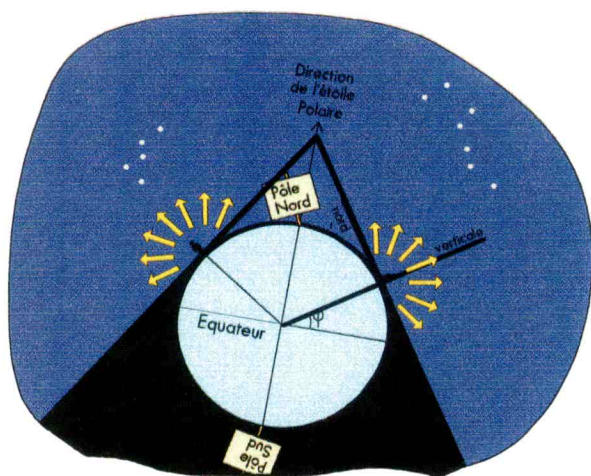


Il faut considérer que la sphère céleste a un rayon très grand par rapport au rayon de la Terre. Ainsi, la direction de l'étoile Polaire est la même pour l'observateur O ou vue depuis le centre de la Terre.

L'horizon sud fait un angle avec l'équateur céleste égal à $90^\circ - \varphi$. Un personnage en O peut donc voir des étoiles placées sous l'équateur dans l'hémisphère céleste sud.

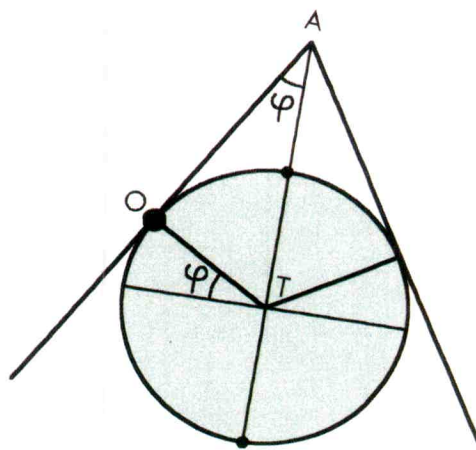
A Lille (latitude 51° nord), on peut observer des étoiles jusqu'à la déclinaison -39° : Antarès du Scorpion est visible (déclinaison -26°) mais pas la queue du Scorpion (-43°).

A Marseille (43° nord), on peut voir des étoiles jusqu'à la déclinaison -47° ; la queue du Scorpion est donc visible, bien que toujours basse.



On peut calculer que la proportion de la partie toujours invisible de la sphère céleste, située dans le cône d'angle au sommet 2φ , est égale à $(1 - \cos \varphi) / 2$.

La partie visible est donc égale, en proportion, à $1 - (1 - \cos \varphi) / 2$ soit $(1 + \cos \varphi) / 2$.



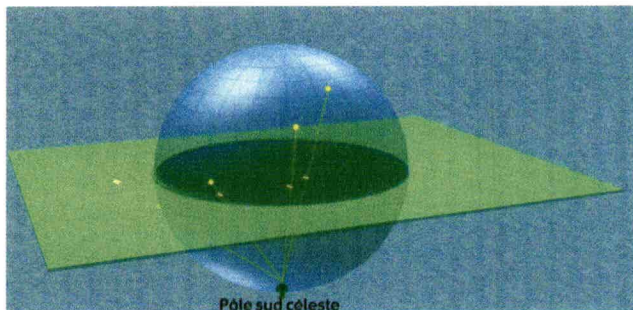
Voici les résultats que l'on obtient pour quelques lieux. Il faut néanmoins préciser que le pourcentage indiqué est le maximum théorique que l'on n'atteint jamais. L'horizon est toujours brumeux et poussiéreux et on peut être satisfait si on ne perd que 5 degrés.

Pour $\varphi = 47,3^\circ$ (Dijon), on trouve $(1 + \cos \varphi) / 2 = 0,839$, ce qui signifie que 83,9 % de la sphère céleste sont visibles au cours de l'année à Dijon.

Lieu	Latitude	% de la sphère céleste visible	Lieu	Latitude	% de la sphère céleste visible
Pôle nord	90°	50%	Lyon	$45,8^\circ$	84,9%
Cercle polaire	$66,6^\circ$	69,9%	Marseille	$43,3^\circ$	86,4%
Lille	$50,6^\circ$	81,7%	Ajaccio	$41,9^\circ$	87,2%
Paris	$48,8^\circ$	82,9%	Alger	$36,8^\circ$	90,0%
Dijon	$47,3^\circ$	83,9%	Equateur	0°	100%

Pour réaliser notre carte, il faut maintenant mettre à plat toute la partie du ciel visible. Nous ne chercherons pas pour l'équateur, d'où l'on peut observer tout le ciel. Nous nous contenterons de la France métropolitaine d'où l'on voit quand même plus de 85% de la sphère céleste.

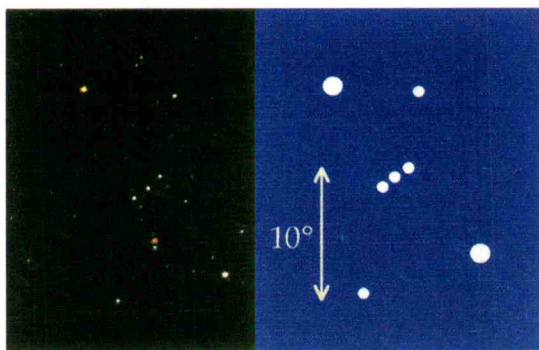
La projection stéréographique.



On projette les étoiles de la sphère céleste sur le plan de l'équateur ainsi : on trace la droite passant par le pôle sud céleste et l'étoile, puis on prend l'intersection avec le plan équatorial. Cette projection stéréographique est connue depuis l'antiquité grecque et était utilisée par les astronomes arabes pour réaliser leurs astrolabes. Le pôle Nord céleste est projeté au centre de l'équateur, les étoiles de l'hémisphère nord se retrouvent à l'intérieur du cercle équateur alors que celles de l'hémisphère sud sont à l'extérieur. Seul le pôle sud n'a pas de projeté.

Il se trouve aussi que tout cercle tracé à la surface de la sphère céleste se transforme en cercle (vous pouvez en demander la démonstration à notre rédactrice en chef, la spécialiste sur le sujet). Cette propriété était bien pratique pour tracer sur les astrolabes l'équateur, l'écliptique, les cercles de hauteurs (almicantarats)...

On peut très bien utiliser cette projection pour réaliser une carte du ciel tournante. Comme de plus, elle conserve les angles, les formes des constellations sont conservées. Voici par exemple Orion en photo et en projection stéréographique :

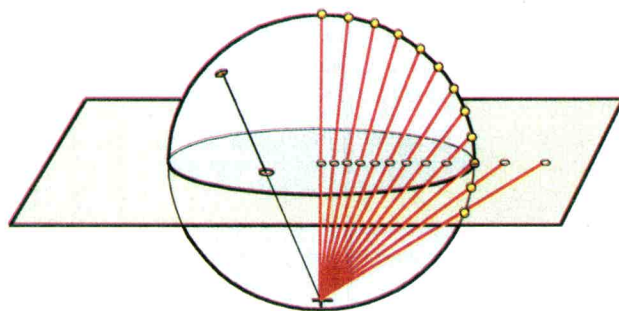


Ou encore la Grande Ourse en photo et en projection stéréographique :



Si les formes sont conservées, vous avez sans doute remarqué que les dimensions ne le sont pas. Orion paraît démesuré à côté de la Grande Ourse. 10° au niveau d'Orion ne correspond pas du tout à 10° vers la Grande Ourse. En projection stéréographique, plus on s'éloigne du pôle Nord, plus la constellation est grande. Le Scorpion est gigantesque. On a, sur la carte, plus de distance du Scorpion à l'équateur (pour 47° de déclinaison) que de l'équateur au pôle (pour 90°).

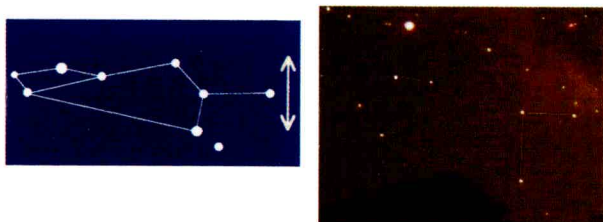
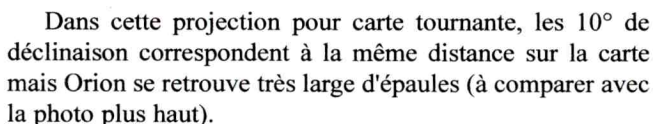
Sur ce schéma, on a placé régulièrement à droite une étoile tous les 10° de déclinaison. On voit bien que les projetés ne sont pas placés à égale distance. Plus on s'éloigne du pôle Nord, plus les étoiles sont écartées.



Autres projections

Sur les cartes tournantes habituelles, on adopte un autre système de projection pour que les étoiles du schéma ci-dessus soient espacées régulièrement. Comparé à la projection stéréographique, cela revient à "resserrer" les constellations les plus extérieures.

Le gros inconvénient est qu'on les déforme énormément. La Grande Ourse, proche du pôle, n'est pas trop modifiée, alors qu'Orion ou le Sagittaire sont aplatis. N'ayant pas trouvé de nom à cette projection, je l'appellerai dans la suite "projection corrigée".



Quant au Sagittaire, il est à peine reconnaissable !

La fenêtre horizon

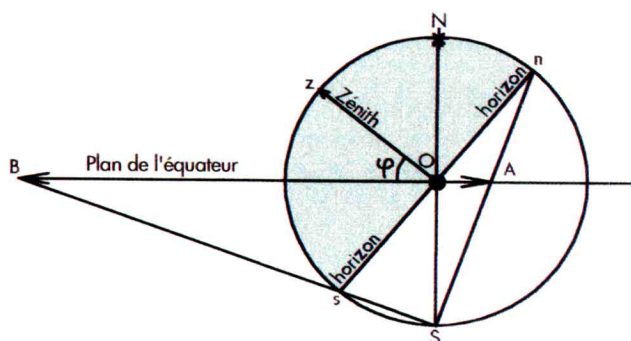
En projection stéréographique, le projeté d'un cercle tracé sur la sphère céleste est toujours un cercle.

L'horizon est un grand cercle. Projeté dans le plan de l'équateur, il donnera le cercle de diamètre AB.

On peut vérifier que $AB = 2/\sin\varphi$

Les étoiles visibles seront projetées à l'intérieur d'un cercle de rayon OB avec $OB = 1/\tan(\varphi/2)$

En projection corrigée, la fenêtre horizon s'aplatit pour ressembler à une ellipse (mais ça n'en est pas une).



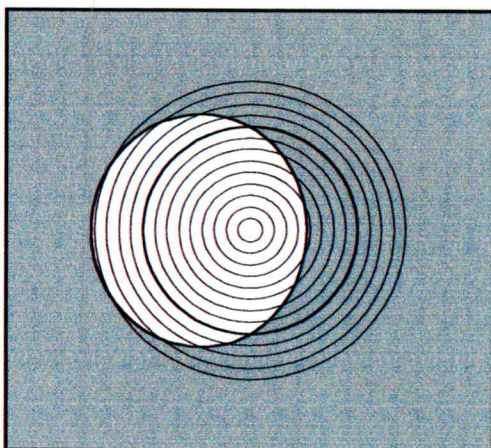
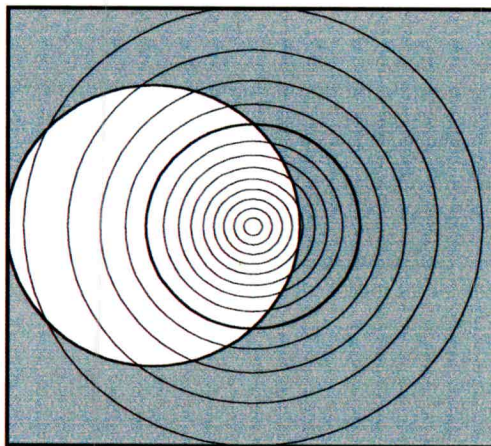
O : observateur.

En grisé, la partie visible du ciel à un instant donné.

n = horizon nord, s = horizon sud.

N = pôle Nord céleste, S = pôle Sud céleste.

Les lignes d'isodéclinaison sont tracées tous les 10°. Dans les deux cas, le pôle Nord céleste est au centre des cercles. L'équateur est en trait plus épais. Il a le même diamètre dans les deux images. On voit que la projection stéréographique prend beaucoup plus de place si on veut pouvoir mettre quelques détails dans l'hémisphère céleste nord.



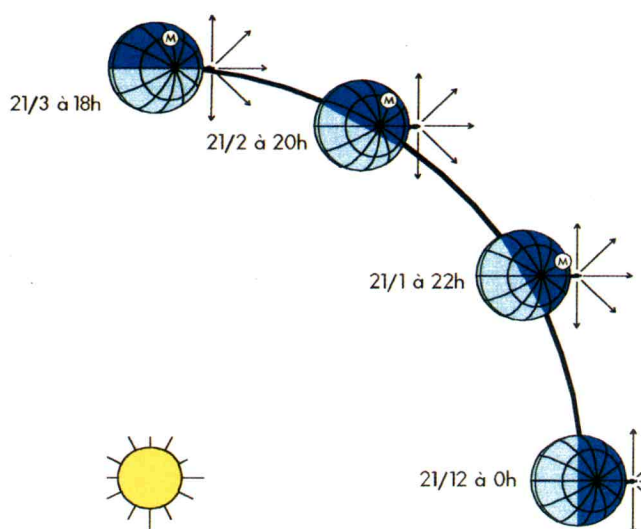
La fenêtre horizon est en blanc. C'est bien un cercle en projection stéréographique et une sorte d'ellipse en projection corrigée.

Les graduations des heures et dates

Sur chacune des "Terre", on a tracé 12 méridiens qui sont donc espacés de 2 heures. Le 21 décembre, il est minuit pour notre personnage situé à l'opposé du Soleil. Les flèches représentent son ciel observable (avec Orion au plus haut dans le ciel).

Un mois plus tard, le 21 janvier, la Terre s'est déplacée sur son orbite. M représente le méridien de minuit. Notre personnage retrouvera le même ciel que le 21 janvier sur le méridien précédent, 2 heures plus tôt, donc à 22 heures. Le ciel sera encore le même le 21 février à 20 heures ou le 21

mars à 18 heures. C'est évidemment approximatif puisque tous les mois n'ont pas la même durée.



Lorsque l'on gradue une carte tournante du ciel, on place les heures de 0 à 24 heures sur une circonférence et les dates sur une autre de telle manière que lorsque l'on règle sa carte pour le 21 décembre à minuit, la date du 21 janvier se retrouve en face de 22 heures, celle du 21 février en face de 20 heures...

Deux cartes à construire

Après cette présentation théorique, il ne vous reste plus qu'à prendre vos ciseaux pour construire deux cartes tournantes du ciel. La première carte utilise une projection stéréographique, la deuxième une projection corrigée. Vous pourrez vous amuser à comparer le Scorpion et la Grande Ourse sur les deux cartes.

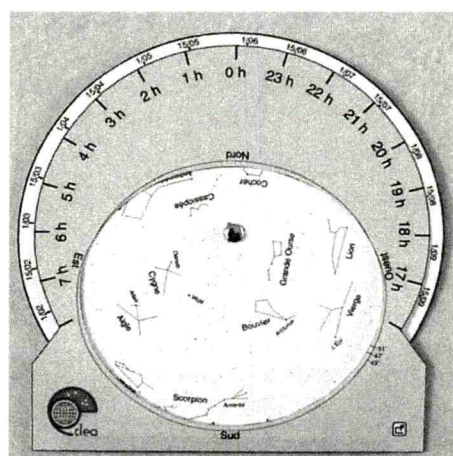
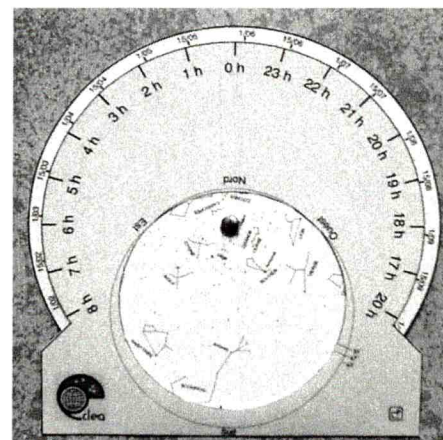
Construction :

Quatre ou cinq éléments sont nécessaires pour chacune des cartes tournantes :

1. La carte proprement dite comprenant les constellations et la graduation en dates.
2. Le cache avec la fenêtre et la graduation en heures. Ces deux parties sont à photocopier sur bristol (éventuellement avec agrandissement).
3. Le fond sur lequel est fixé la carte. Le plus simple est de photocopier à nouveau la partie 2 pour s'en servir de fond sans découper la fenêtre. La croix indique l'emplacement du trou pour l'attache parisienne.
4. Une attache parisienne.
5. Eventuellement une graduation en déclinaison sur transparent que vous aurez, soit photocopiée, soit recopiée.

Réalisation :

Découpez la carte, le cache (en choisissant la fenêtre à découper en fonction de votre latitude) et le fond. Assemblez avec du ruban adhésif le cache et le fond par le bas. Percez la carte sur la croix juste à côté de la Polaire, puis le fond et fixez la carte sur le fond avec l'attache parisienne.



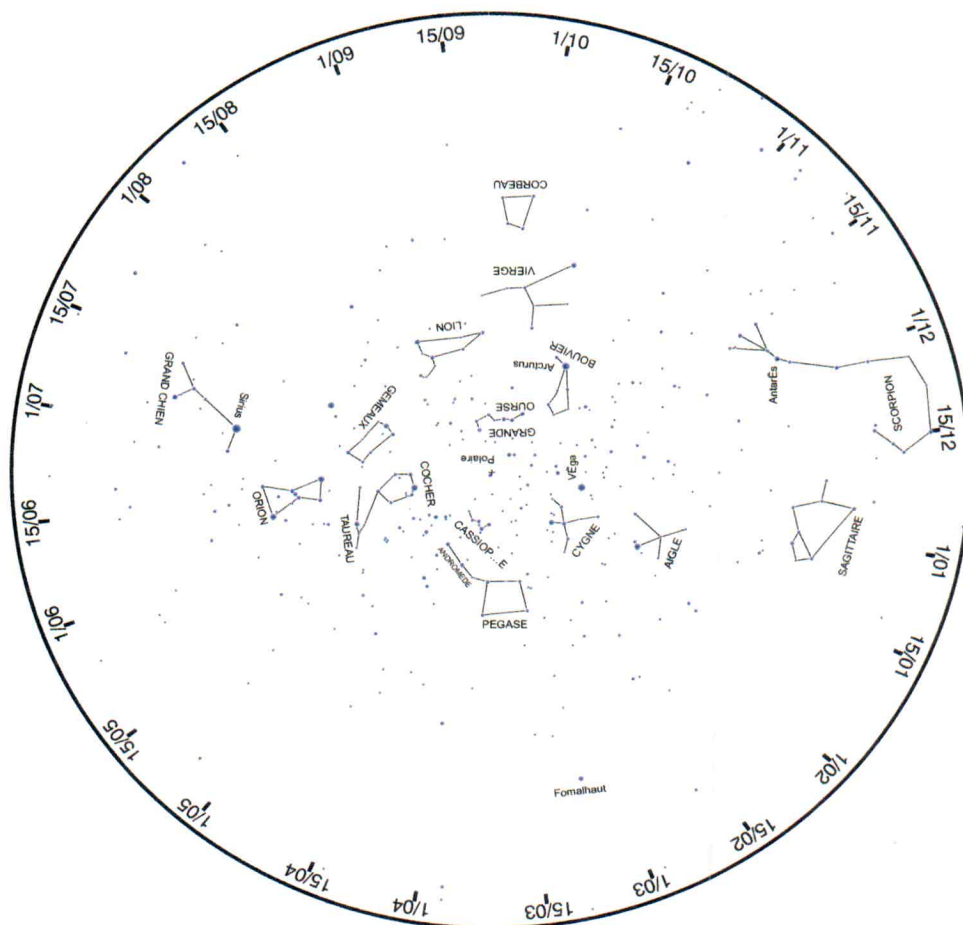
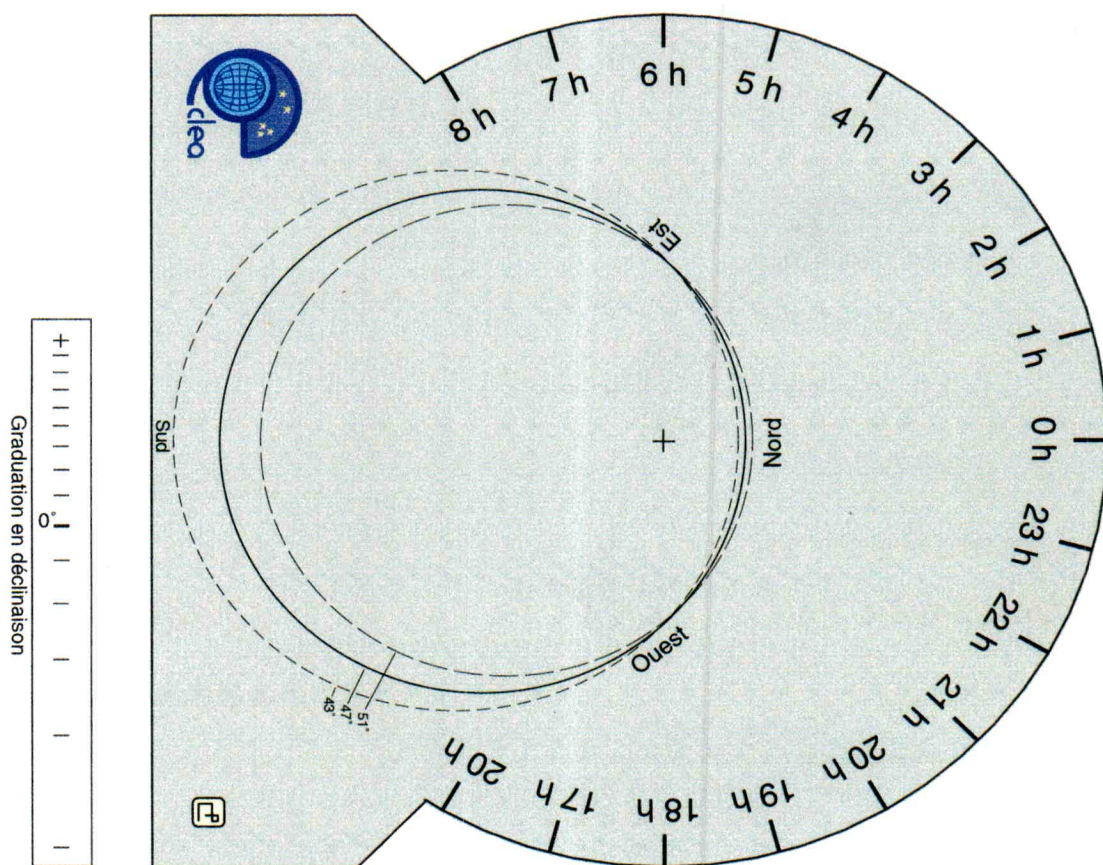
Utilisation :

Tournez la carte pour faire correspondre la date avec l'heure d'observation. Vous aurez alors dans la fenêtre le ciel observable. La position des points cardinaux a pu vous surprendre : si on met le nord en haut, on a l'est à gauche et l'ouest à droite. Tout ceci est normal puisque la carte se tient au dessus de soi.

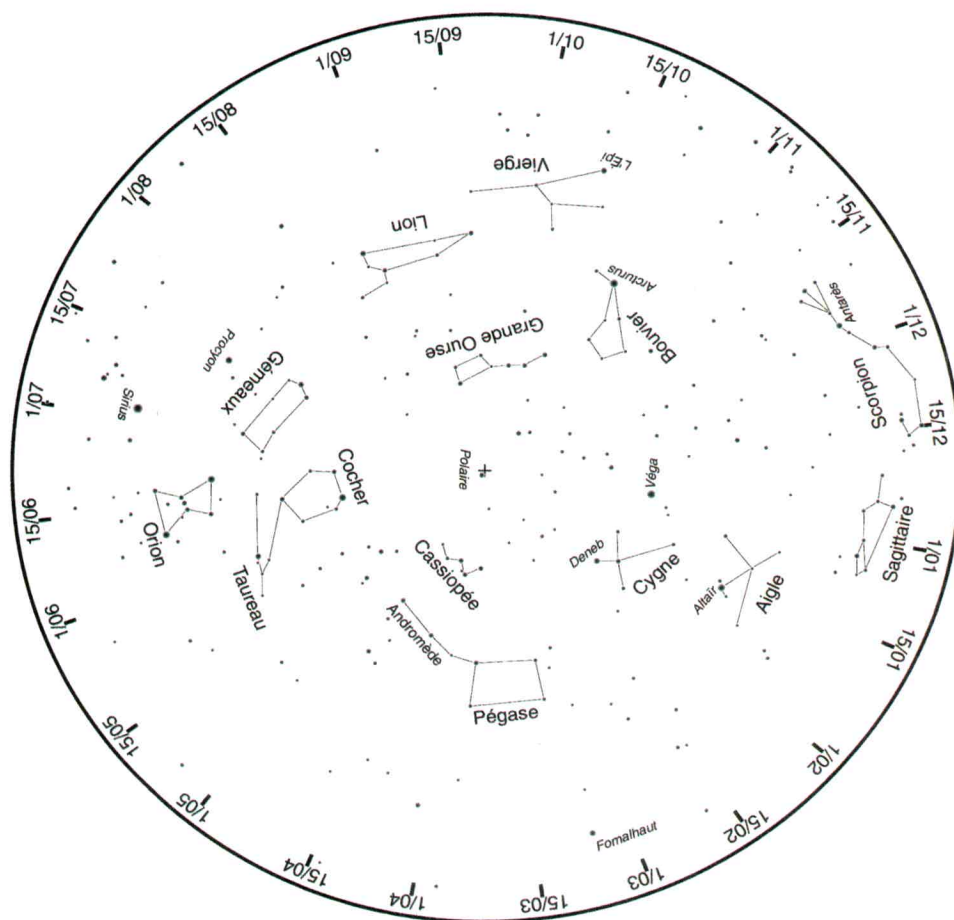
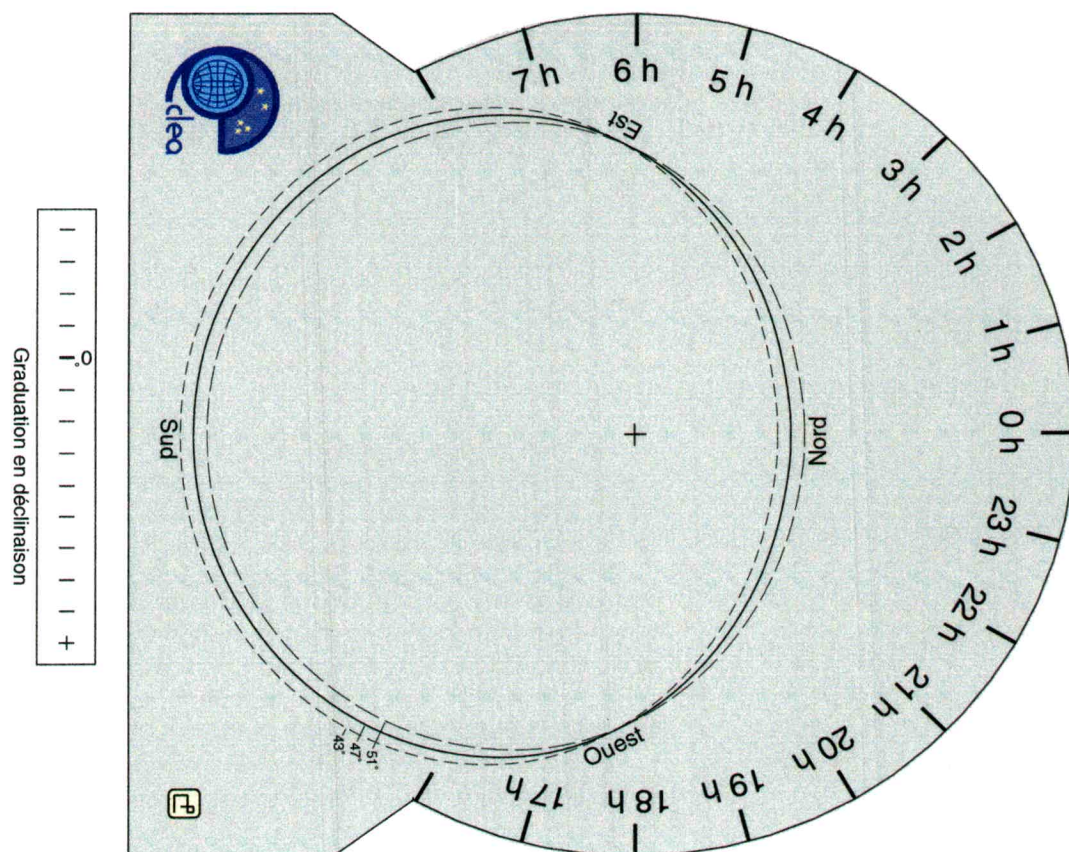
La position n'étant pas très confortable, il est préférable de tenir la carte devant soi, le sud en bas quand on observe au sud, l'ouest en bas pour observer à l'ouest...

Bonnes observations !

Carte tournante du ciel, projection stéréographique.



Carte tournante du ciel, projection "corrigée".





NAISSANCES ET ASTRONOMIE

Jean Ripert

CURIOSITÉS

Hé oui, n'en déplaise à certains dont j'étais avant de commencer cette enquête, le nombre des naissances varie avec des facteurs astronomiques : saisons (!), jour de la semaine (!), phases de la Lune(?).

En fait tout est parti d'une phrase que tout le monde a entendue : "il y a plus de naissances à la Pleine Lune". C'est une affirmation et c'est même devenu une réalité. Il suffit d'en parler avec diverses personnes travaillant dans des maternités : médecins, personnel de service, sages-femmes, infirmières, pour en avoir la confirmation.

Ces jours de Pleine Lune sont des jours de cauchemar dans les maternités. Voyons donc de plus près.

Dans des Cahiers Clairaut, Daniel Toussaint avait étudié un article publié dans une revue d'infirmières sur ce phénomène et avait fait dire aux données l'inverse de la conclusion de l'auteur de l'article. Pour lui, il n'y avait pas plus de naissances à la Pleine Lune.

Il y a quelques années, avec un collègue de Cahors, nous avons étudié les dates de naissances des élèves (un peu plus de 3000) des lycées de Cahors et avons conclu de la même façon.

Trois mille c'est peu, je voulais donc faire une étude sur un plus grand nombre.

Je me suis donc adressé à l'INSEE pour obtenir les nombres de naissances par jour sur deux années. J'ai choisi 1968 et 1971. Pourquoi ces années ? Ce n'est que depuis 1968 que l'on peut avoir le nombre de naissances par jour et puis 1968 est une année bissextile avec seulement 12 "Lune". Par contre l'année 1971 n'est pas bissextile mais comporte 13 Pleine Lune et de plus c'est l'année de naissance de mes premiers enfants. En fait deux années qui ne sont pas plus marquées que d'autres en ce qui concerne l'astronomie ou la natalité.

Nous voilà avec 1 711 494 naissances et plus de naissances en 1971 (878 647) qu'en 1968 (832 847).

Le but est donc de vérifier si l'affirmation citée plus haut est vraie ou non.

Mais avant suivons les naissances au fil des saisons.

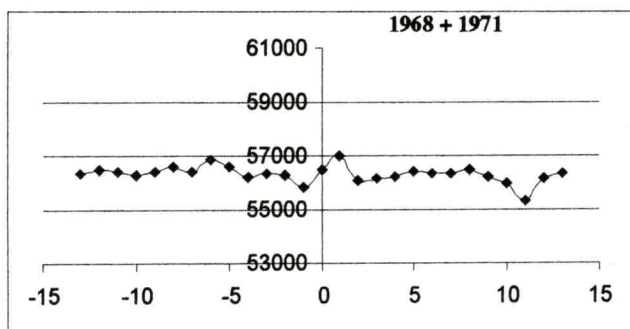
Nombres de naissances en fonction de la saison.

Le début des saisons ne correspondant pas avec le début de mois du calendrier grégorien, il faut prendre des périodes centrées sur le 21 de chaque mois. Un calcul du nombre moyen de naissances par jour pour chacune de ces périodes permet de tracer les courbes de la page ci-contre.

L'allure des deux courbes est similaire.

Elles croissent en Hiver pour passer par un maximum au Printemps. Elles décroissent en Été et en Automne avec un maximum autour de l'équinoxe d'Automne.

Si on regroupe l'ensemble des deux années, la courbe montre que le jour de la Pleine Lune correspond à un nombre de naissances moyen et non à un maximum.



Il semblerait par contre qu'il y ait un maximum pour PL+1 et un autre à PL-6.

Il apparaît également un minimum pour PL+11, d'ailleurs plus marqué pour l'année 1968. Mais tout reste relatif. Le nombre moyen de naissances pour le 11^e jour après la pleine Lune, en 1968, est de 2212 pour une moyenne journalière sur l'année de 2275. Ceci représente une variation de 2,8%.

Il est possible de chercher quels sont les jours de la lunaison pour lesquels le nombre de naissances est supérieur de 5% au nombre de naissances journalières de chaque lunaison (1) et également ceux pour lesquels il est inférieur de 5%.

Le tableau ci-contre donne les résultats pour les 12 lunaisons de 1968 et celles de 1971.

Chaque case donne le nombre de fois que le jour de la lunaison a un nombre de naissances inférieur d'au moins 5% à la moyenne journalière de la lunaison (colonnes 2,3,4) ou supérieur d'au moins 5% (colonnes 5,6,7).

Là encore, le jour de la Pleine Lune n'est pas particulier, pas plus que les autres phases.

Pour les jours présentant le plus de naissances, les mieux placés (NL-2, NL-1, PQ+1, PQ+2, PL-3, PL-2) ne sont cités que 4 fois sur les 24 lunaisons.

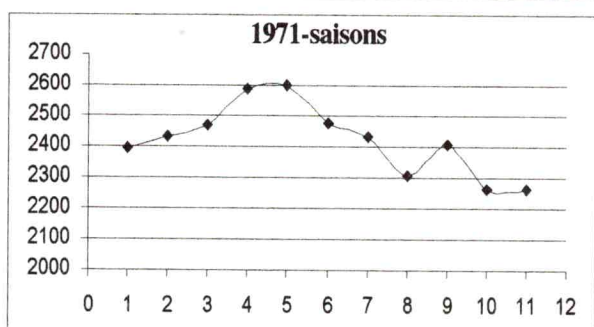
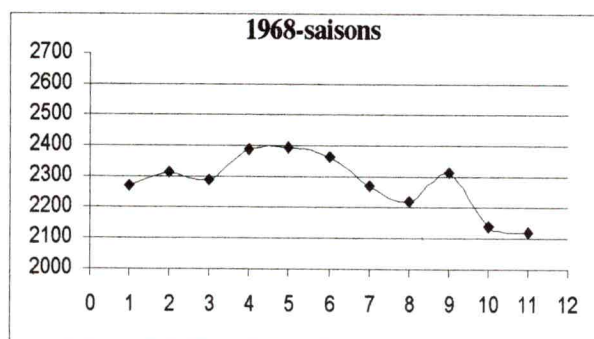
Pour les moins abondants en naissances, les plus cités sont PQ, PQ-1, PL-3, DQ-2 et NL+2.

	Moins 5%			Plus 5%		
	1968	1971	total	1968	1971	total
NL-4	0	1	1	0	0	0
NL-3	3	1	4	0	1	1
NL-2	1	2	3	2	3	5
NL-1	0	1	1	2	3	5
NL	0	1	1	0	1	1
NL+1	0	0	0	0	2	2
NL+2	2	3	5	2	0	2
NL+3	2	2	4	1	1	2
NL+4	1	0	1	1	0	1
PQ-3	0	3	3	1	0	1
PQ-2	1	1	2	1	0	1
PQ-1	4	1	5	1	0	1
PQ	4	2	6	2	1	3
PQ+1	1	1	2	1	3	4
PQ+2	1	1	2	1	3	4
PQ+3	2	1	3	2	1	3
PQ+4	1	0	1	1	0	1
PL-3	3	2	5	0	4	4
PL-2	1	1	2	1	3	4
PL-1	0	2	2	1	0	1
PL	1	1	2	1	1	2
PL+1	0	1	1	0	2	2
PL+2	1	2	3	2	1	3
PL+3	0	1	1	0	0	0
PL+4	1	1	2	0	0	0
DQ-3	2	1	3	1	0	1
DQ-2	3	2	5	0	1	1
DQ-1	1	2	3	0	1	1
DQ	2	1	3	1	2	3
DQ+1	0	2	2	1	2	3
DQ+2	2	1	3	1	1	2
DQ+3	1	2	3	2	0	2
DQ+4	2	0	2	1	1	2

Remarques :

- il n'y a pas de valeur autour du 21 décembre car les données jusqu'aux 6 janvier 1969 et 1972 n'étaient pas disponibles.

- les tracés des courbes par mois du calendrier ont les mêmes allures que celles ci-dessous



On peut hâtivement en déduire que le nombre de naissances dépend de la saison et donc de la position du Soleil dans le Ciel. Plus le Soleil est haut dans le Ciel, plus il y a de naissances, avec une petite exception en septembre ou alors est-ce que la présence du Soleil dans les constellations du Cancer et du Lion joue un rôle ?

En fait la sociologie a son mot à dire ; la vie sociale dans notre société joue un rôle plus important que la position des astres dans le ciel. Il y a un maximum de naissances en Avril et Mai, cela correspond à une procréation en Juillet et Août. Hé oui les vacances sont passées par-là. Le petit pic autour du 21 septembre est à mettre en correspondance avec la fin de l'année et les vacances de Noël.

Il serait intéressant de faire la même étude dans un pays de l'hémisphère sud par exemple l'Australie, mais également un pays de même latitude que la France, mais ayant une autre culture.

Nombre de naissances en fonction des jours de la semaine et des phases de la Lune.

Les données sont celles de l'INSEE, associées à celles du Bureau des Longitudes pour les phases de la Lune. Il suffit d'apporter 5 modifications pour tenir compte du fait que le BdL donne les heures des phases de la Lune en temps universel (UTC) alors que l'INSEE fixe les jours en fonction de l'heure légale en France.

Jours de la semaine.

Un regard sur les courbes de l'annexe 1 permet de constater qu'il n'y a pas de périodicité particulière, sauf pour certains minima qui correspondent aux dimanches. Là encore, nous pouvons penser à l'organisation de notre société. Provoque-t-on les naissances pour éviter le dimanche ? Si oui pourquoi n'y a-t-il pas systématiquement des nombres plus importants de naissances autour des dimanches ?

Les courbes montrent que l'on ne peut rien en déduire ; parfois au cours d'une semaine il y a une courbe en cloche avec un maximum en milieu de semaine (1^{ère} semaine de janvier et 3^e semaine de février 68) et parfois il y a un creux. (2^e semaine de mars 68).

Phases de la Lune.

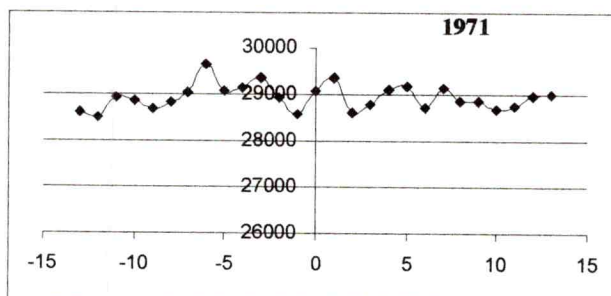
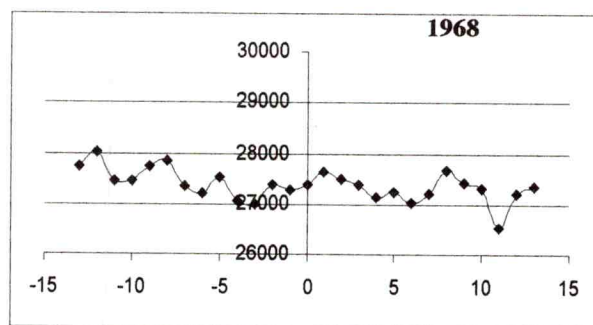
Si on regarde la succession des 12 lunaisons de 1968 et de 1971, on constate que les jours de Pleine Lune ne sont pas ceux ayant le plus de naissances au cours des lunaisons.

Malgré tout, est-ce que globalement les jours de Pleine Lune comportent un nombre important de naissances ?

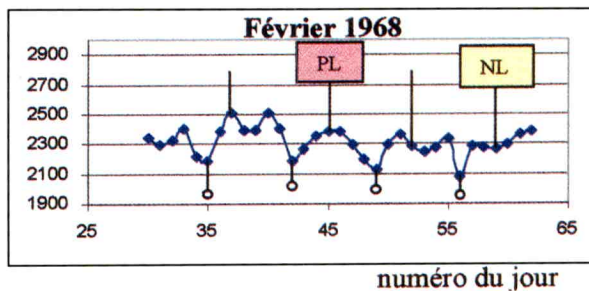
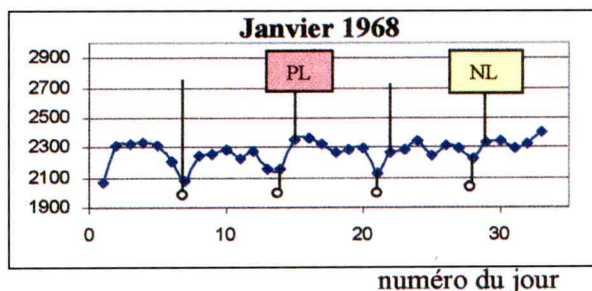
Pour cela, il suffit de regrouper toutes les naissances des jours de Pleine Lune et les comparer aux autres jours. Mais il faut abandonner les phases de la Lune car la durée des lunaisons est variable. Ainsi le Dernier Quartier peut tomber 6 jours civils après la Pleine Lune (avril 68) ou 8 jours civils après (janvier 71). La durée exacte est 6j 14h 44min et 8j 4h 46min.

Il suffit de numéroté "zéro" les jours de Pleine Lune, +1 le jour suivant, -1 le jour précédent et ainsi de suite.

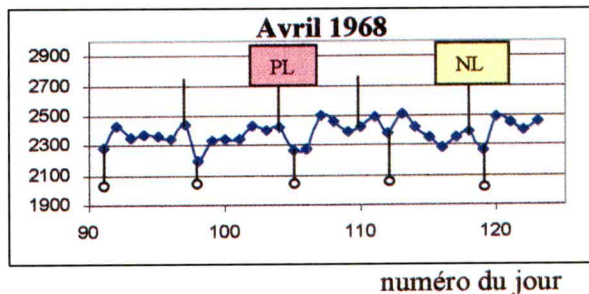
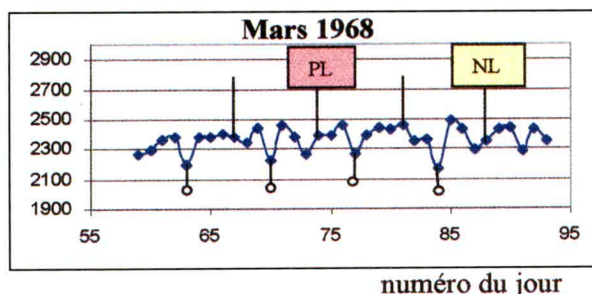
Les courbes ci-dessous donnent le nombre de naissances total en fonction des phases de la Lune, en prenant la Pleine Lune comme référence (zéro).



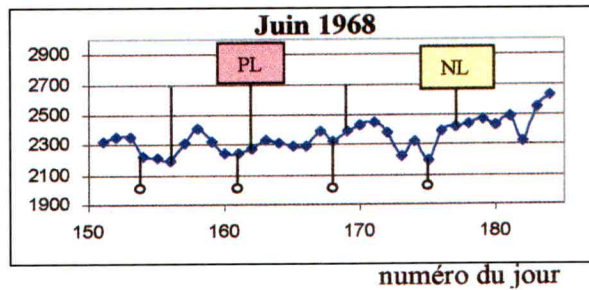
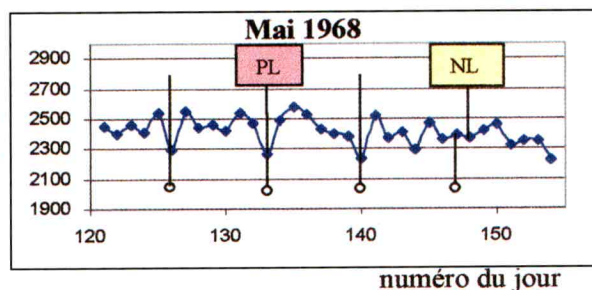
nombre de
naissances



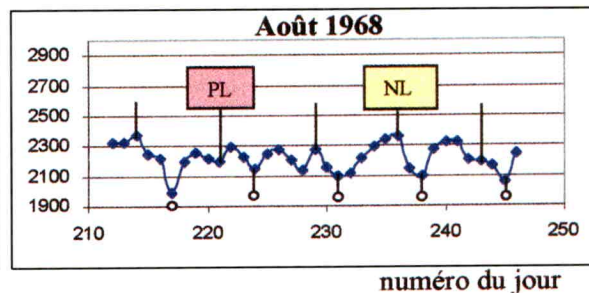
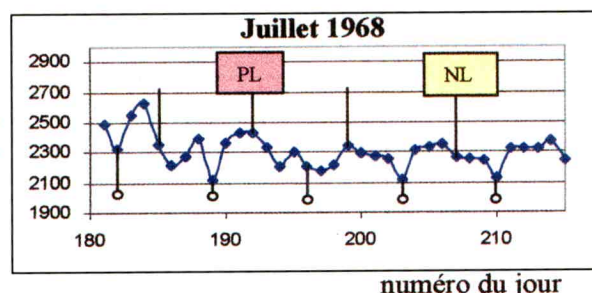
nombre de
naissances



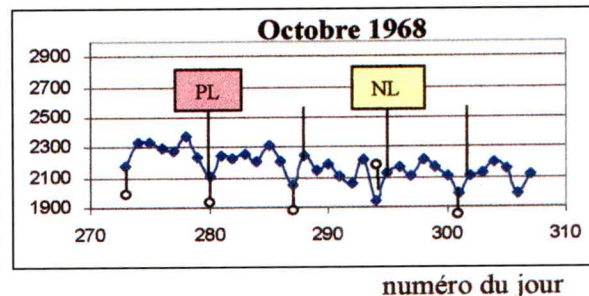
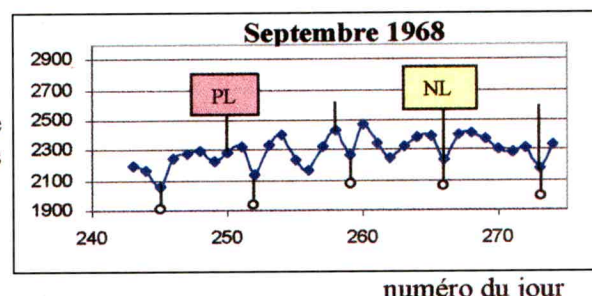
nombre de
naissances



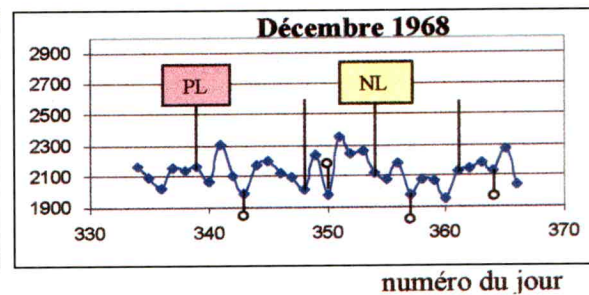
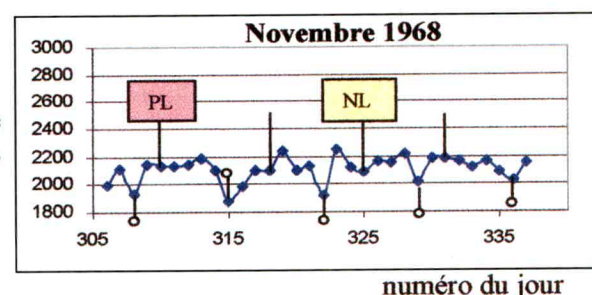
nombre de
naissances



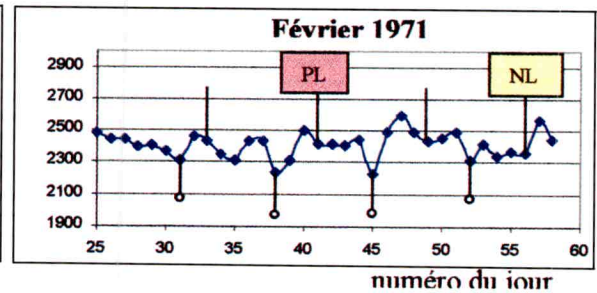
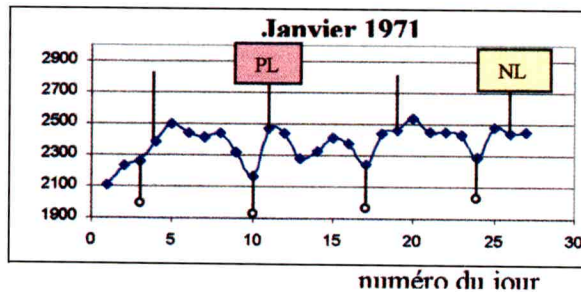
nombre de
naissances



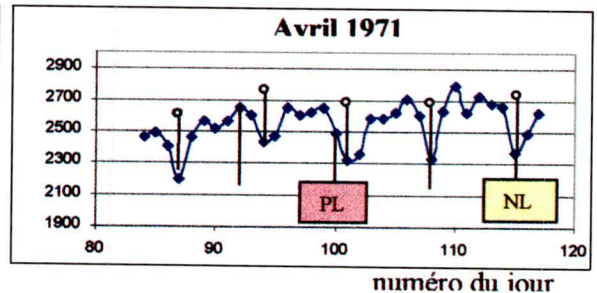
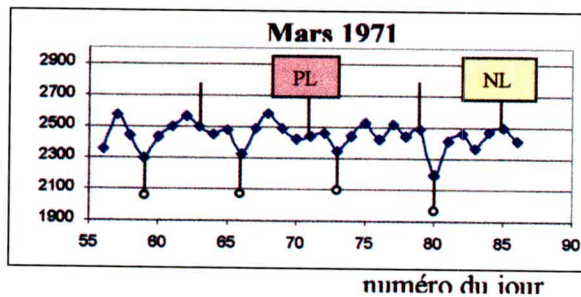
nombre de
naissances



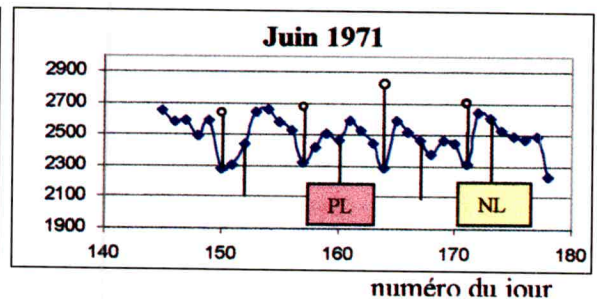
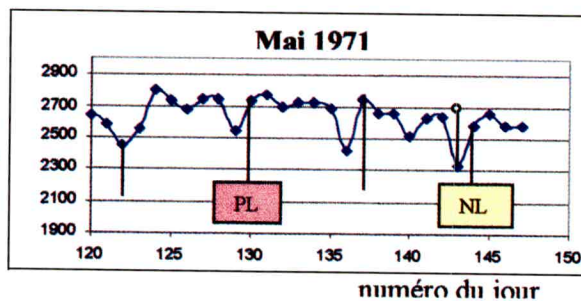
Nombre
de
naissances



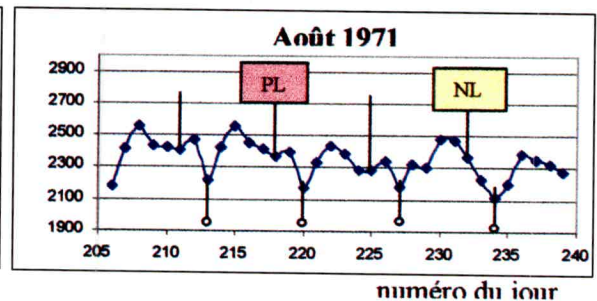
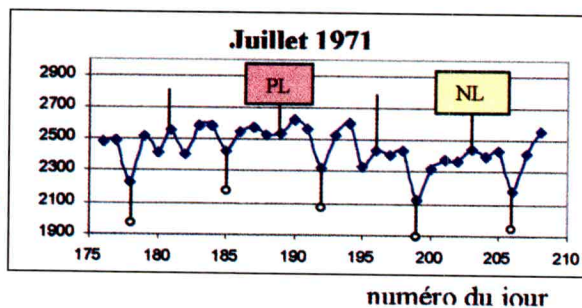
Nombre
de
naissances



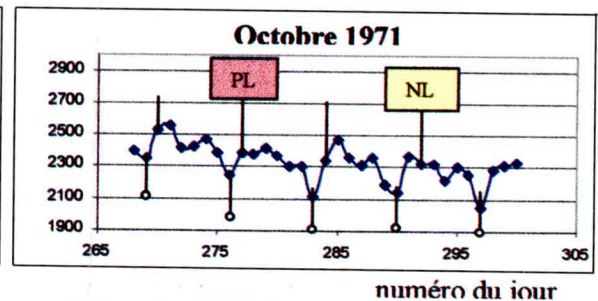
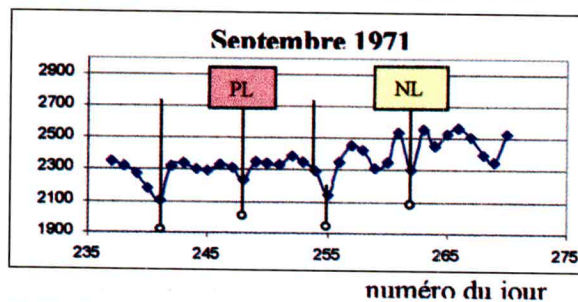
Nombre
de
naissances



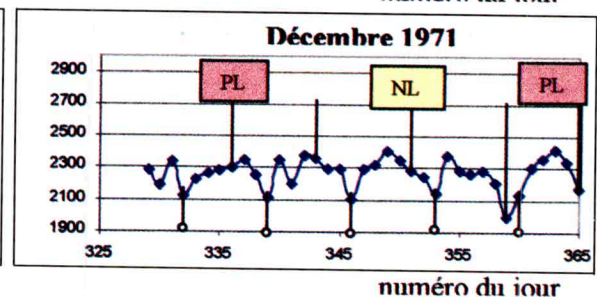
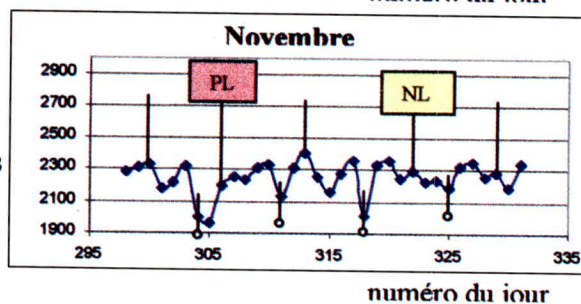
Nombre
de
naissances



Nombre
de
naissances



Nombre
de
naissances



n° lunaison	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1968	2 ^{ème}	7 ^{ème}	12 ^{ème}	10 ^{ème}	27 ^{ème}	21 ^{ème}	7 ^{ème}	21 ^{ème}	4 ^{ème}	25 ^{ème}	14 ^{ème}	14 ^{ème}
1971	4 ^{ème}	16 ^{ème}	19 ^{ème}	21 ^{ème}	6 ^{ème}	17 ^{ème}	10 ^{ème}	19 ^{ème}	23 ^{ème}	15 ^{ème}	23 ^{ème}	11 ^{ème}

Enfin pour tordre le cou à cette idée préconçue qu'il a plus de naissances le jour de la Pleine Lune, voyons quel est le classement du jour "Pleine Lune" au cours de chaque lunaison, en fonction du nombre de naissances.

Le tableau ci-dessus donne les résultats du classement.

On obtient une moyenne pour 1968 de 13,6 et pour 1971, de 15,3. C'est une jolie moyenne pour une lunaison de 29,5 j

Conclusion.

A partir de l'étude sur ces deux années, on montre que le nombre de naissances varie avec la saison, plus au printemps, moins à l'automne (sauf autour de l'équinoxe) et le jour de la semaine (moins de naissances le dimanche), mais ceci est plus dû à notre vie sociale qu'à la position des astres dans le ciel. Dans ce cadre, il serait intéressant d'étudier d'autres populations.

Quant à la Pleine Lune, ce n'est pas un jour qui apporte plus de naissances que les autres jours.

Pour 1968 la moyenne journalière des jours de Pleine Lune est de 2283 naissances soit 0,4% au-dessus de la moyenne annuelle et pour 1971 elle est de 2402 naissances soit 0,2 % au-dessous de la moyenne annuelle. Alors que pour la même année les jours qui ont le plus de naissances ont une moyenne supérieure de 8% à la moyenne annuelle.

Quand les personnes affirment qu'il y a plus de naissances à la Pleine Lune, elles l'affirment pour la France et ces dernières années, c'est à dire sans tenir compte des naissances dites provoquées.. Cette étude rentre bien dans ce cadre, et c'est pour cela que les années 68 et 71 ont été choisies car cette pratique était moins développée, bien qu'il y ait moins de naissances le dimanche.

Cette étude, m'a surtout fait plaisir personnellement, mais je ne pense pas qu'elle changera les mentalités, même si elle est diffusée dans toutes les boîtes aux lettres.

Ne pourront changer d'avis que ceux qui se pencheront sur le problème avec un esprit libre. Cette affirmation a donc de beaux jours devant elle, tant que des personnes, telle une caisse de résonance, la colporteront de groupe en groupe.

Le soleil du Calvados en finale des Olympiades de la Physique

Mesure de la constante solaire
Construction d'un spectroscopie solaire
Radioscopie solaire : température de la chromosphère

Lycée Ste Marie de Caen
Lycée A. Maurois de Deauville
Lycée A. Maurois de Deauville

31 janvier et 1er février 2003
au
Palais de la Découverte.



Occultation de Saturne par la Lune

Pierre Causeret

REMUE-MÉNAGES

Cette occultation de Saturne par la Lune s'est produite le 3 novembre 2001. Elle a été photographiée ici à proximité de Dijon derrière un télescope Schmidt Cassegrain de 200 mm.

Quatre questions à partir de ces photos, deux faciles sans calcul et deux un peu plus longues avec calcul :

- 1) Remettez-les trois photos dans l'ordre.
- 2) Calculez le temps écoulé entre les différentes photos.
- 3) Cette occultation a-t-elle eu lieu avant ou après la pleine lune ?
- 4) Combien de jours ont séparé le phénomène de la pleine lune ?

Quelques données :

Les photos sont orientées comme on pouvait l'observer à l'œil nu, avec l'ouest à droite et l'est à gauche. Elles couvrent 10' en hauteur.

Pendant le déplacement de la Lune, Saturne vue depuis Dijon a pratiquement suivi un diamètre de la Lune.

Le diamètre apparent de la Lune était de 31,5'.

Si mon logiciel préféré ne se trompe pas, la prochaine occultation de Saturne par la Lune visible en France aura lieu le 2 mars 2007...

Solution au problème du n° 98

A propos du lever de Soleil derrière le Mont Blanc (et non devant le Mont Blanc comme je l'ai écrit dans le texte page 29...)

Le Soleil mesurant un demi-degré de diamètre apparent, on trouvait l'échelle des photos : 1 cm pour 0,13°.

Le décalage entre la photo prise et la photo recherchée était de 2,6 cm soit 0,34°.

A une distance de 180 km, cela correspond à 1 km.

J'essaierai donc de prendre une photo la prochaine fois en me déplaçant d'un km (perpendiculairement à la direction du Soleil levant), à la même date (très proche du solstice d'hiver).

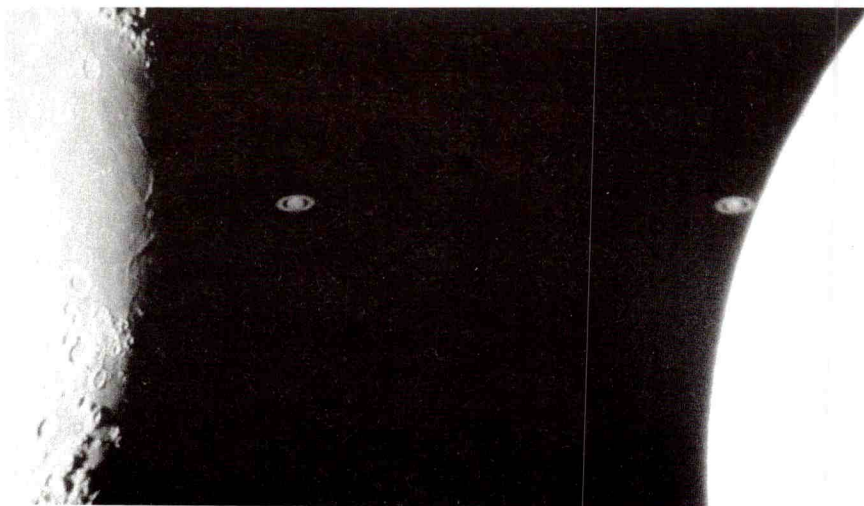


Photo A

Photo B

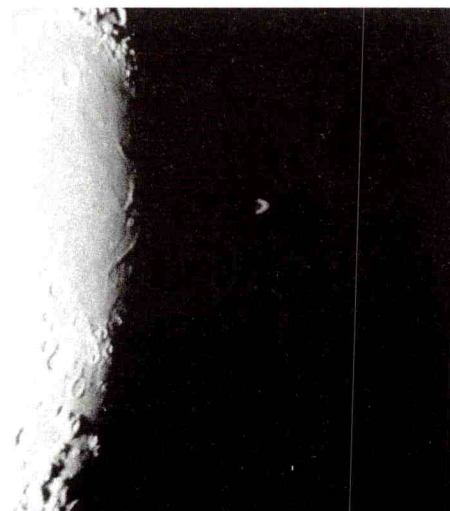
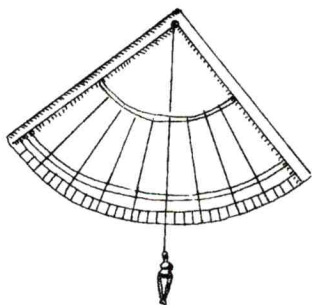


Photo C

(photos Patrick Buatois / SAB) ■



PTOLEMEE ASTROLOGUE

Pierre LERICH

HISTOIRE

Ptolémée est surtout connu pour son monumental "Almageste", traité d'astronomie qui rassemblait les connaissances de l'antiquité grecque, et qui reste aujourd'hui la principale source des études historiques sur cette période. Mais il a écrit aussi sur la géographie connue à son époque (le II^e siècle de notre ère), sur la musique, sur l'optique, et même sur l'astrologie.

Son traité d'astrologie, la "Tetrabible" (littéralement, livre en quatre parties), est surtout intéressant pour son prologue.

Il semblerait, d'après ce prologue, que la société cultivée d'Alexandrie (la plus riche métropole de l'antiquité, fondée en Egypte par Alexandre le Grand) ait été très réticente à l'égard de l'astrologie. Sinon, comment expliquer le ton entièrement défensif de ce prologue ? Comme dans beaucoup de traités d'astrologie actuels, il s'agit avant tout de répondre à des attaques, d'essayer avec des arguments plus ou moins convaincants, de contrer des objections de bon sens qui n'ont guère évolué depuis les origines. C'est l'occasion de répéter "rien de nouveau sous le soleil", car l'attaque et la défense sont strictement les mêmes qu'à notre époque.

L'objection la plus courante hier comme aujourd'hui consiste à observer que les astrologues se trompent régulièrement dans leurs prédictions. C'était déjà un sujet de plaisanterie à l'époque de Ptolémée : quand un astrologue "tombait juste", on disait que c'était un coup de chance. Ptolémée déplore cette incrédulité systématique, tout en reconnaissant que l'astrologie ne saurait atteindre le degré de

certitude de l'astronomie. Ce n'est pas que la "science astrologique" soit incertaine par nature, dit-il, c'est que l'esprit humain, avec ses performances modestes, ne peut interpréter le message des astres que "dans une certaine mesure". Il ne défend donc pas l'astrologie réelle, avec la prolifération d'erreurs que chacun peut constater, mais plutôt une astrologie "virtuelle", celle qui pourrait exister si seulement les hommes étaient plus intelligents. Cette stratégie défensive est devenue habituelle chez tous les astrologues du monde, dont les plus arrogants revendiquent 85% de "réussite", se réservant ainsi un repli honorable en cas de malchance.

Il ne défend pas non plus l'astrologie réelle dans ses rapports souvent crapuleux avec l'argent. Selon Ptolémée, beaucoup d'astrologues sont des comédiens qui ne s'intéressent pas du tout au ciel, et ne consultent même pas les tables permettant de calculer les positions des astres (ces tables qui sont justement le contenu principal de l'Almageste. Aujourd'hui, n'importe quel bricoleur d'horoscopes fait tourner

son logiciel qui exécute le travail en quelques secondes. Au II^e siècle, il fallait beaucoup de calculs à la main : Ptolémée était bien placé pour le savoir, et le constat de charlatanisme mercantile, venant de lui, est dévastateur pour ce métier d'astrologue tel qu'il se pratiquait. Fichu métier, d'ailleurs, toujours en contact avec des gens rusés, cupides et dominateurs, ne cherchant dans les astres que des moyens stratégiques au service de leurs ambitions. Ptolémée détestait visiblement ce genre de clients. Il aurait préféré que l'astrologie serve à la santé et à la recherche d'un équilibre personnel. Ici, la seule défense possible de l'astrologie consiste à dire qu'elle n'est pas responsable de l'usage qu'on en fait.

Une autre objection très courante, à laquelle Ptolémée essaie de répondre tant bien que mal, c'est que si les astres décident de notre destinée, il vaut mieux ne pas connaître leur message : on passerait sa vie à attendre l'événement, heureux ou malheureux, et finalement on ne vivrait pas.

C'est un peu le même problème que pour le patrimoine génétique, qu'il vaut certainement mieux ne pas connaître.

La réponse de Ptolémée est la même que dans toutes les époques : les astres influencent les événements dans un certain sens, mais ne les déterminent pas strictement, ce qui pendant des siècles s'est dit en latin "astra inclinant, non necessitant". Il reste à l'homme une certaine marge de liberté pour empêcher les événements malheureux ou au moins les atténuer, et en sens inverse pour favoriser les événements heureux.

L'homme peut donc garder un contrôle sur son destin "dans une certaine mesure", de même qu'il peut comprendre le message des astres "dans une certaine mesure".

Cette modestie semble sincère dans le cas de Ptolémée. Dans d'autres cas on pourrait la soupçonner de n'être qu'une façade : si l'événement se produit, les astres l'avaient dit. S'il ne se produit pas c'est qu'on a réussi à l'empêcher. Ainsi l'astrologue a toujours raison : C.Q.F.D.

Finalement Ptolémée apparaît dans ce prologue comme un défenseur de l'astrologie très modéré et même prudent, tout à fait conscient des faiblesses de la doctrine et de la force de ses adversaires.

Dans le corps même de l'ouvrage, il lui arrive plusieurs fois de prendre ses distances à l'égard de la tradition, quand celle-ci lui paraît arbitraire ou insuffisamment fondée. Il écrit par exemple : "Je donne ici l'ordre des termes tel qu'il est donné par certains, et auquel on apporte croyance à cause de son antiquité".

Voilà un auteur pas très convaincu. Sur certains points, il est franchement critique : par exemple l'heure adoptée pour établir les thèmes de naissance est toujours fautive, parce que les cadrans solaires sont mal construits et les horloges à eau fantaisistes. Il faudrait utiliser la sphère armillaire (dont l'Almageste donne la description technique très précise).

En outre, c'est l'heure de la conception qu'il faudrait considérer ; ce serait cent fois plus logique, mais cette heure-là est inobservable, sauf aujourd'hui en cas de fécondation "In Vitro" en laboratoire.

Ptolémée n'a pas eu à répondre à l'argument devenu aujourd'hui incontournable de la discordance entre les signes et les constellations. Pendant les trois siècles qui séparent Hipparque (le découvreur de la précession des équinoxes) de Ptolémée, les étoiles du Bélier avaient déjà "avancé" par rapport à l'équinoxe d'environ 4°.

Cependant, pour le public éclairé de l'époque, la constellation était toujours dans les trente premiers degrés de l'écliptique, et il n'y avait pas lieu de se poser de questions : la concordance était encore correcte entre le signe et la constellation.

Mais Ptolémée avait bien compris que le problème se poserait un jour de façon inévitable. La règle qu'il préconise est de prendre l'équinoxe (le point "gamma") comme origine des signes (et non les étoiles du Bélier), d'une part parce que les "Anciens" ont procédé ainsi, d'autre part parce que la validité de cette méthode est confirmée "à partir de nos observations antérieures"...

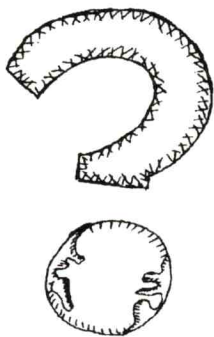
C'est tout ce qu'il dit sur ce sujet. C'est un peu vague, et on s'étonne de voir l'auteur de l'Almageste se contenter de si peu sur un point important et délicat. Il a bien vu qu'un jour, les étoiles du Bélier ne seraient plus du tout dans les trente premiers degrés de l'écliptique, et que l'application de la règle traditionnelle deviendrait absurde. Peut-être s'est-il dit : "on a bien le temps d'y penser" ? Qui s'intéresse vraiment à ce qui se passera dans mille ou deux mille ans ?

Dans l'ensemble, la "Tetrabible" n'est pas très différente d'un traité d'astrologie actuel, avec ses ingrédients éternels : ascendant, aspects, maisons, exaltations, etc... et pour les hommes, santé, famille, travail, argent... L'histoire de l'astronomie est plus passionnante que n'importe quel roman policier. Au contraire l'histoire de l'astrologie est statique, paralysée, fossilisée comme un dinosaure. Face au scepticisme des citoyens d'Alexandrie, Ptolémée a défendu l'astrologie comme il a pu, ni mieux ni plus mal que bien d'autres au cours des siècles.

On chercherait en vain dans l'histoire une période tranquille où l'astrologie ait régné sans contestations ni disputes. Même quand elle a été à la mode dans le peuple ou dans l'aristocratie, les meilleurs esprits de l'époque s'en moquaient ouvertement comme les humanistes au 16^e siècle et les "philosophes" au 18^e. Au 17^e siècle, elle fut même interdite par Colbert. Drôle de "science", toujours méprisée, chassée à coup de balai, jamais découragée, trouvant toujours une fissure dans la muraille pour rentrer et s'installer comme chez elle, jusqu'à la prochaine crise.

Note :

Pour mieux connaître l'œuvre "sérieuse" de Ptolémée, on pourra consulter "une histoire de l'Astronomie" de J.P. VERDET, collection "Points-Sciences", au Seuil (1990).



LE CLEA, HIER ET DEMAIN

L. Gouguenheim et G. Paturel

Le COMITE DE LIAISON ENSEIGNANTS ASTRONOMES (CLEA) a déjà 25 ans, l'âge de réfléchir à l'avenir en regardant le passé. Mais 25 ans, c'est finalement assez jeune !

"Le CLEA est unique".

On sait que d'autres disciplines nous envient ce comité J.P. Changeux ne déplorerait-il pas l'absence du CLEB pour les biologistes ?

Le CLEA a ouvert la voie, puissent les autres disciplines, de la biologie à la zoologie, avoir envie d'aller jusqu'au CLEZ.

Les objectifs initiaux et fondamentaux.

Pure et désintéressée, l'astronomie jouit d'une sympathie naturelle auprès des jeunes et du public. Elle fait appel à toutes les branches de la physique : la mécanique rationnelle pour l'analyse des mouvements des corps, l'électronique et l'optique pour les instruments d'observation, la thermodynamique et la mécanique quantique pour le rayonnement des astres, la physique nucléaire pour la source d'énergie.

Quelle mine inépuisable de phénomènes incroyables livrés à notre sagacité. Y a-t-il meilleur outil pour se former à l'observation et à l'analyse ?

Deux risques cependant peuvent détourner le novice et le laisser profane,

hors du temple magnifique de la connaissance (sonnez trompettes !).

La science d'aujourd'hui est très complexe et il faut apprendre à l'approcher graduellement. Reprenons cette citation tirée du premier numéro des Cahiers-Clairaut :

" J'ai pensé que cette science, comme toutes les autres, devait s'être formée par degrés : que c'était vraisemblablement quelque besoin qui avait fait faire les premiers pas et que ces premiers pas ne pouvaient être hors de la portée des Comménçants, puisque c'étaient les Comménçants qui les avaient faits. "

Méfions nous cependant de ne pas prendre pour de la complexité ce qui n'est que jargon de spécialistes. Cherchons les liens objectifs et fuyons ces médecins qui n'ont pour seule thérapie que le recours à des noms latins.

Si cette discipline est belle, elle peut donner lieu à des dérives non scientifiques. Former les gens à réfléchir par eux-mêmes est le meilleur rempart contre toute forme d'endoctrinement ou de dogmatisme. Ne croyons à rien qui ne découle de notre analyse rationnelle, elle-même fondée sur des principes confirmés par l'expérience.

Fort de ces deux convictions, le CLEA a grandi et prospéré.

On a parfois l'impression que l'école est faite pour sélectionner non pour éduquer. Le CLEA n'a pas ce genre de dilemme. Son seul but est de rendre la science accessible, par tous les moyens : l'écrit, le dessin, l'humour, l'expérience, le web. S'il fallait aller sur la Lune nous irions.

L'expérience des 25 premières années

Quand les fondateurs du CLEA ont commencé, la formation continue des professeurs du secondaire n'existait pas ; précurseurs, ils ont répondu à une attente. Les professeurs étaient demandeurs, prêts à prendre leur formation sur leurs temps de loisir et sur leurs finances propres. Les écoles d'été se sont déroulées dans ce contexte et dans ces conditions.

Un réseau de correspondants académiques a été mis sur pied, qui diffusent les documents du CLEA et prennent des initiatives dans leurs IUFM (autrefois à la MAFPEN) pour organiser des stages académiques. Ce sont eux aussi qui organisent chaque année l'AG du CLEA.

Les instances astronomiques professionnelles ont soutenu le CLEA, financièrement par une aide individuelle du CNRS et du CNFA, et en 1981 avec la mise en place, par le ministère, des universités d'été. Ce coup d'accélérateur a fourni un soutien fort aux objectifs d'éducation du CLEA. En retour, la diffusion de l'astronomie devait être bénéfique au financement de la recherche.

L'histoire et l'expérience du CLEA sont riches : sa force réside, bien sûr, dans le fait qu'il répond à un besoin, mais aussi dans la bonne entente entre les enseignants et les astronomes qui l'animent. Ils se considèrent plus comme des amis que comme des collègues.

La constitution du GRP (guide du routard pédagogue ? ou plus sérieusement, Groupe de Réflexion Pédagogique) a conduit à éditer beaucoup de documents pédagogiques, testés, expérimentés qui sont à la fois non-directifs et directement utilisables. Ces travaux pratiques "prêts à l'emploi" sont appréciés des enseignants, confrontés à des problèmes pratiques de mise en œuvre, au sein d'une classe.

Le contexte actuel a changé

Aujourd'hui, le climat est très différent :

- Les enseignants sont las de faire des efforts (financier et en temps), se trouvent confrontés à de nombreux problèmes, ils ont moins d'enthousiasme. Ils sont souvent conscients des dérives des objectifs de l'enseignement et mettent leur priorité à lutter contre ces dérives (démagogie, prééminence d'objectifs économiques sur ceux de formation de l'individu).

- Les astronomes n'ont pas touché les dividendes de leurs investissements et n'ont plus les moyens de nous soutenir.

- Le ministère ne propose plus aucun thème d'Université d'été dans lesquels nous puissions entrer ; c'est une situation particulièrement difficile pour nous, car nos universités d'été étaient un temps fort pour nous faire connaître et nous renouveler.

- Le contexte nous est paradoxalement plus favorable, puisqu'il y a des thèmes d'astronomie dans les programmes : nous avons été entendus ; mais le traitement de ces thèmes risque d'aller dans le sens d'une dérive que nous condamnons : rester superficiel, expérimenter pour expérimenter sans mettre en évidence la problématique et le cheminement d'une démarche construite, faire joujou sur internet en y collectant des textes disparates collés bout à bout, sans parfois même les comprendre.

- Notre réflexion sur l'utilisation des techniques de l'information et de la communication (nous avons déjà réalisé un site web et un cd-rom...) mises au service de nos objectifs de formation doit se poursuivre et s'intensifier puisque celles-ci sont aujourd'hui au cœur de tous les discours et les orientations concernant les dispositifs éducatifs.

- Notre équipe vieillit et a besoin de se renouveler, justement pour faire face à cette nouvelle situation, dans laquelle nous voulons faire avancer nos idées sur ce qu'est la formation à l'esprit scientifique. Il faut trouver des forces neuves, des bénévoles, qui, en dépit de leurs occupations nombreuses (ceux qui s'impliquent dans une telle entreprise sont rarement désœuvrés) pourront s'investir dans cette action. Il faut trouver des idées nouvelles pour pallier les difficultés passagères. Il faut enfin gérer l'évolution des besoins, liée aux changements des programmes scolaires, aux nouveaux moyens de diffusion, voire même aux nouvelles personnalités.

- L'avenir du CLEA passe par un certain renouvellement, de plus jeunes générations doivent nous rejoindre, et prendre les rênes, à leur tour et à leur façon. Cette année 2002 devrait être une période de transition, pendant laquelle une équipe renouvelée devrait émerger, et à l'issue de laquelle elle désignera son nouveau ou sa nouvelle président(e).

Cette évolution est-elle possible ?

Il y a des signes de vitalité du CLEA :

- La nouvelle gestion informatisée de la trésorerie grâce à Jacky Dupré et Béatrice Sandré.

- Le travail de Dominique Balin qui a pris en charge l'expédition des nombreuses commandes.

- La vitalité du site internet que nous devons à Francis Berthomieu.

- Les efforts éditoriaux de Martine Bobin, du comité de rédaction et des auteurs pour les Cahiers Clairaut ; on notera tout particulièrement l'introduction d'un cahier pédagogique annuel et l'implication de Frédéric Dahringer dans le travail de rédaction et d'édition.

Cependant ces efforts n'ont pas suffi à stopper la perte régulière d'abonnés : un questionnaire a été lancé pour mieux évaluer les points forts et les points faibles et rechercher de nouveaux abonnés.

Le CLEA a organisé avec ses propres moyens la dernière école d'été de Gap en août ; Jean Ripert a assumé la responsabilité de l'organisation, aidé par une belle équipe d'animateurs, sans oublier Francette Delmas. On peut dire que cette école a été un succès et qu'elle a contribué à relancer une nouvelle dynamique dans notre association. Dès le retour, plusieurs pistes d'itinéraires de découverte à composante astronomique ont été publiées sur le site du CLEA, grâce au travail des stagiaires et de l'équipe de coordination animée par Pierre Causeret. Ce travail se poursuit en s'étendant à l'école élémentaire et au programme de physique de terminale sous la responsabilité respectivement de Liliane Sarrazin-Vilas et de Frédéric Dahringer : il se concrétisera par des articles dans les CC.

Cette école d'été est, de l'avis de tous, un moyen essentiel de communication où se nouent les liens qui renforcent la structure du CLEA.

- L'équipe de Lyon autour de Dominique Abouaf et Claude Piguet, a organisé l'an dernier une magnifique Assemblée générale ; le flambeau est repris cette année à Orléans par Lucette Mayer.

- Le CLEA a noué des contacts avec des groupements similaires dans d'autres pays. Le CLEA a déjà une dimension européenne.

Comment faire ?

Les objectifs fondamentaux doivent être respectés : démonter graduellement l'apparente complexité de la science, apprendre à observer et analyser par soi-même.

Les Cahiers Clairaut constituent l'organe de communication entre enseignants et astronomes. Les premiers y relatent leurs expériences réussies avec les

élèves, les seconds font part des dernières découvertes ou simplement font le point sur un sujet général. Mesurons notre chance d'avoir une tribune où nous exprimer, simplement, librement. Il faut tout faire pour préserver ce moyen de communication, ancien mais solide.

Le site web en plein développement est aussi un moyen moderne, qui à terme sera une vitrine pour le CLEA et offrira un moyen de dialogue nouveau entre Astronomes et Enseignants. Entre les CC et le site web il faut trouver un équilibre.

Des projets sont déjà en route : rediffuser sur le site web les anciens numéros, sinon dans leur intégralité, du moins les articles les plus intéressants ; le répertoire de ces articles qui a fait l'objet d'un travail conséquent et qui se trouve sur le site pourrait alors être valorisé.

Le site web pourrait être est à la fois la mémoire du CLEA et le lieu pour l'information éphémère et les CC la base de l'information solide que chacun veut avoir chez lui, à portée de la main.

L'organisation générale du CLEA n'a pas à être bouleversée, sa réussite ne justifie pas de révolution. L'évolution doit donc se faire en douceur et surtout en concertation avec le plus grand nombre. C'est étonnant, la quantité de bonnes idées qu'il y a dans une communauté. La difficulté est de faire que ces idées s'expriment (d'où le questionnaire du dernier numéro des CC).

Mais il faudra imaginer des idées pour alléger le travail très lourd d'édition des CC, tout en préservant l'homogénéité et la très grande qualité initiée par le travail remarquable de Martine Bobin. Les professionnels de l'édition ont été confrontés aux mêmes difficultés devant la concurrence des nouveaux moyens de diffusion. Nous pouvons nous inspirer de leurs solutions mais d'autres suggestions peuvent émerger. Que cet article soit une incitation à la réflexion.

Concluons

Surtout pas, ne concluons pas. Continuons.

Continuons à maintenir le cap, entre amis. Ce n'est pas si fréquent de rencontrer des gens qui partagent les mêmes idées, les mêmes ambitions. Aucun de nous n'est parfait mais chacun, au sein d'un projet comme le CLEA, apporte le meilleur de soi-même. Au-delà de notre vie professionnelle, notre vie de tous les jours en est modifiée.

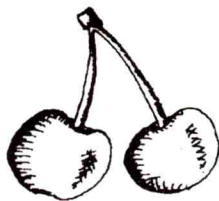
On se surprend à utiliser la formule de Victor Tryoen :

" la répétition fixe la notion "

ou celle de Gilbert Walusinski :

" il faut commencer par le début et finir par la fin ".

Gardons cette formule pour conclure.



Compte-rendu de l'école d'été 2002 Hommage à Janette Walusinski

VIE ASSOCIATIVE

Compte-rendu de l'école d'été GAP 22/29 août 2002

22 août 2002 (15 h).

Il fait beau, un peu plus frais au col Bayard. Le golf est bien vert (on a compris pourquoi une semaine plus tard), le gîte très agréable et pimpant. Tout est prêt : les animateurs et Francette sont là. Les téléscopes sont montés, les caisses vidées, les tables en place. Il flotte comme une petite angoisse dans l'air ; il y a des défections de dernière minute. "Les stagiaires vont-ils venir ?"

17 h / 18 h : ils sont là ! ils sont 23, jeunes dans l'ensemble. Ouf !

Jean a fabriqué du "Fénelon" pour améliorer son vin de Cahors (c'est une bordelaise qui parle) il a rajouté de l'eau (H_2O ?) de noix et autres élixirs et, croyez moi l'ambiance s'est réchauffée. Chacun a

présenté son programme aux stagiaires, il y en a pour tous les goûts, pour tous les niveaux (primaire, collège lycée).

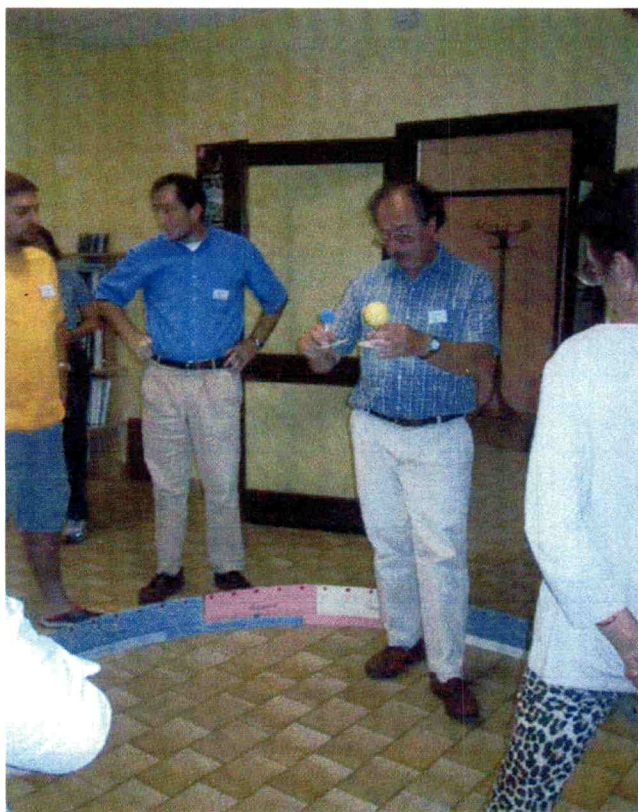
Il y a des GT, des GR, des ateliers (voir liste jointe). Cependant, franchement, tout se dégrade : on a vu des animateurs, qui pour avoir du monde, ont essayé de soudoyer les stagiaires en leur promettant un bout de chocolat s'ils venaient "chez eux" !

Toujours est-il, qu'après avoir entrevu un peu le ciel tout le monde est allé dormir. Les jours ont passé. Tout le monde bossait. Nous étions dans une ruche, la bibliothèque ne désemplissait pas, les idées, les questions fusaient.

Nous avons retrouvé cette atmosphère studieuse, joyeuse et cordiale qui caractérise toutes les écoles d'été.

Francette s'est occupée, comme d'habitude, de nos adresses, nos e-mails, des ventes, des publications et autres détails d'organisation qui nous délestent de tous soucis.





Lucienne et Lucette nous ont transportés dans l'Univers.
 Jean, après nous avoir fait perdre nos repères avec son "Fénelon", nous a ramenés dans le droit chemin des coordonnées.
 Fritz, à cheval sur la Lune, n'a pas réussi à la faire dévier (il paraît que depuis, elle tombe).
 Le pauvre Galilée a encore été jugé.
 Jean-Luc, juché sur Pégase, est sorti des flots.
 Christian a fait rétrograder Mars.
 Marie Agnès a découvert des traits noirs dans ses spectres.



Notre spécialiste "Webcam", à savoir Pierre, filmait la moindre boule de polystyrène.
 Martine est venue nous rendre visite et a plaidé, entre autres, pour avoir des articles dans les Cahiers Clairaut.

Ainsi plus les jours (et les nuits) passaient, plus nous nous réchauffions avec le "Fénelon".
 Alors, faute d'observations, il y a eu des discussions, des lectures, des projections de films, des tarots, des "couche tôt", (et pas de "lève tard"), des travaux de recherche, des rires et une atmosphère si agréable que nous avons eu peine à nous quitter.



Le dernier soir a été exceptionnel : les stagiaires ont organisé des cours absolument hilarants.

Gérald nous a fait découvrir, entre autre, la constellation des "jumelles". Michel a soutenu un exposé scientifique de haut niveau sur ce pauvre "pendu de Foucault" qui s'est donc pendu en un point très précis du globe (un article va sûrement arriver pour les cahiers Clairaut à ce sujet). Jean a revu la trajectoire du Soleil grâce à un saladier révolutionnaire (le Soleil est proche de la Terre à midi, puisqu'il fait plus chaud, c'est évident).

Côté chaleur et surtout visibilité du ciel, cette école d'été aura été exceptionnelle : il n'y aura pas eu un soir d'observation !

Cependant, il faut relater un événement important le 29 août entre 2h 30 et 2h 45, un groupe de randonneurs acharnés a réussi à voir les "3 belles de l'été" !.

Résumons ; ce stage, fort arrosé, aura été réussi grâce à un groupe de stagiaires très dynamiques.

29 août 2002 10h : soleil radieux.

Au revoir les amis
 Expérimentez bien dans vos classes
 Envoyez nous des textes pour rajeunir nos cahiers Clairaut

N'oubliez pas le C.L.E.A.
 Et merci de nous avoir donné tant de bonheur .

Liliane SARRAZIN-VILAS

EXPOSES

- E1** Structure de l'Univers et grands instruments, Lucette
- E2** Documents en couleur et l'évolution stellaire, Lucienne
- E3** Coordonnées spatiales et temporelles, Jean
- E4** Les représentations initiales chez les jeunes Liliane, Jean Luc et Michel Faget
- E5** Histoire Science, le procès de Galilée et "preuves" des mouvements de la Terre" Pierre Liliane

GROUPES DE TRAVAIL

- GT1** Mouvement apparent du Soleil : Liliane, Pierre, J.L.
- GT3** Saisons, Pierre, Liliane, Jean-Luc
- GT4** Rotation du Soleil (taches solaires), Christian, Jean
- GT5** Phases de la Lune, Liliane, Jean, Jean-Luc
- GT6** Rétrogradation de Mars, Christian, Jean
- GT7** Unités astronomiques (collège) Lucienne, Lucette,
- GT8** Mesures de distances et de tailles, Christian, Jean
- GT9** Du calendrier julien au calendrier grégorien (collège), Lucienne, Lucette
- GT10** Calendrier perpétuel (collège) : Lucienne, Lucette
- GT11** Mesure temps calendrier musulman : Liliane
- GT12** Équation du temps : Marie Agnès
- GT13** Durée du jour sur Mercure (Collège) : Lucienne, Lucette, Frédéric
- GT14** Orbite de Mars par Kepler, Lucienne, Lucette, Frédéric
- GT15** Orbite de Mercure (élongation), Lucienne, Lucette, Frédéric
- GT16** Orbite de la Lune à partir des photos, Lucienne, Lucette, Frédéric
- GT17** Lois de Kepler masse du Soleil, de Jupiter, Frédéric, Jean
- GT18** Comète de Halley, Jean
- GT19** Chute de la Lune, Jean
- GT 20** Spectre du Soleil, Christian
- GT 21** Spectre de Rigel, Jean
- GT 22** Apprentissage des constellations, Liliane, Jean, Jean-Luc

ATELIERS

- A1** Relevés de taches solaires, Jean
- A2** Relevés de la course du Soleil, Jean-Luc, Liliane
- A3** Cadrans solaires, Pierre
- A4** Spectroscope, Marie Agnès
- A5** Tracé du méridien : Jean
- A6** Maquette du système solaire à l'échelle : Jean
- A7** Construction d'un calculateur de fuseaux horaires (collège et école), Lucienne, Lucette
- A8** Construction d'une carte céleste mobile (collège), Lucienne, Lucette
- A9** Construction d'un parapluie des constellations (collège), Lucienne, Lucette

GROUPES DE REFLEXION

- GR1** Réflexion sur l'enseignement des sciences à l'école
- GR2** Réflexion sur les itinéraires de découverte
- GR3** Réflexion sur le programme de TS
- GR4** Réflexion sur le projet de programme d'une option "astro" en seconde.

Janette Walusinski



Après une bataille courageuse contre la maladie, Janette Walusinski nous a quittés le 29 octobre dernier.

Dans l'histoire du CLEA, Janette est inséparable de Gilbert, dont elle a partagé les engagements et les activités : la présidente se souvient bien, par exemple, de sa présence fréquente à Meudon, lors des nombreuses réunions de travail ou de concertation qu'elle a eues avec le secrétaire-trésorier-rédacteur des Cahiers.

Dans notre souvenir commun, Janette est aussi une institutrice passionnée de pédagogie. Qui nous transmettait au long des écoles d'été ses souvenirs et sa compétence d'un métier qu'elle avait profondément aimé ; elle témoignait aussi de son engagement militant dans la cause de l'enseignement public. Les anciens de Lanslebourg, Digne et Grasse s'en souviennent.

Nous sommes tous très affectés par sa disparition et nous disons à Gilbert la part que nous prenons à sa peine.

**Transparents animés
pour rétroprojecteurs**
(8 €)

- T1** Le TransSolTe
(phases de la Lune et éclipses)
T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés
Six feuilles de filtres colorés et
une feuille de réseaux (11 €)

CD Rom CLEA 2000
Sciences physiques en seconde
Programme 2000 (8 €)

DIAPOSITIVES

Chaque série de 20 vues avec son livret
de commentaires (10 €)

- D1** 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 5 €)
D7 Taches solaires et rotation du Soleil
D8 Comètes

Publications du **CLEA**

Il faut être adhérent pour se procurer les
publications du CLEA. Les prix indiqués,
en euros, le sont port compris



Toute commande de documents est à
envoyer au siège du CLEA.
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex

Chèques à l'ordre du CLEA.

Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

- HS1** L'astronomie à l'école élémentaire (10 €)
HS2 La Lune niveau collège (10 €)
HS3 Le temps, les constellations, niveau lycée (10 €)
HS4 Astronomie en quatrième (10 €)
HS5 Gravitation et lumière, niveau terminale (12 €)
HS6 L'âge de la Nébuleuse du Crabe, niveau lycée,
avec 4 diapositives et 12 jeux de
2 photographies (16 €)
HS7 Etude du spectre du Soleil (8 €)
HS8 Etoiles variables (12 €)

Numéros hors série des Cahiers Clairaut réalisés
par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA

Cours polycopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université
Paris XI Orsay

- P1**
Astrophysique générale (10 €)
P2
Processus de rayonnement (5 €)
P3
Structure interne
et évolution des étoiles (5 €)
P4
Astrophysique solaire (5 €)

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2002

Cotisation simple au CLEA pour 2002	5 €
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 97 à 100	25 €
Le numéro des Cahiers Clairaut	7 €
COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT des années antérieures :	
14 € par an du début (1978) à 1997	
17 € par an à partir de 1998	

Pour adhérer au CLEA et s'abonner aux Cahiers Clairaut, s'adresser à
Béatrice Sandré, trésorière du CLEA,
11, rue Couperin 91440 BURES SUR YVETTE. Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA Laboratoire d'astronomie, bât 470
Université de Paris Sud
91405 ORSAY Cedex
Tél / Fax : 01 69 15 63 80
adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr
adresse du site du CLEA : www.ac-nice.fr/clea

Publications

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1 - L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	7 €
2 - Le mouvement des astres	8 €
3 - La lumière messagère des astres	9 €
4 - Naissance, vie et mort des étoiles	10 €
6 - Univers extragalactique et cosmologie	9 €
7 - Une étape de la physique, la Relativité restreinte	16 €
8 - Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	10 €
9 - Le système solaire	14 €
10 - La Lune	10 €
11 - La Terre et le Soleil	12 €
12 - Simulation et astronomie sur ordinateur	8 €

Publication du planétarium de Strasbourg
LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes :
toutes les données disponibles du Centre des Données Stellaires de l'Observatoire
de Strasbourg concernant 2 000 étoiles visibles à l'oeil nu
Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

Directrice de la publication : Lucienne Gouguenheim
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

dépôt légal : 1^{er} trimestre 1979
numéro d'inscription CPPAP : 61660
prix au numéro : 7 €