

---

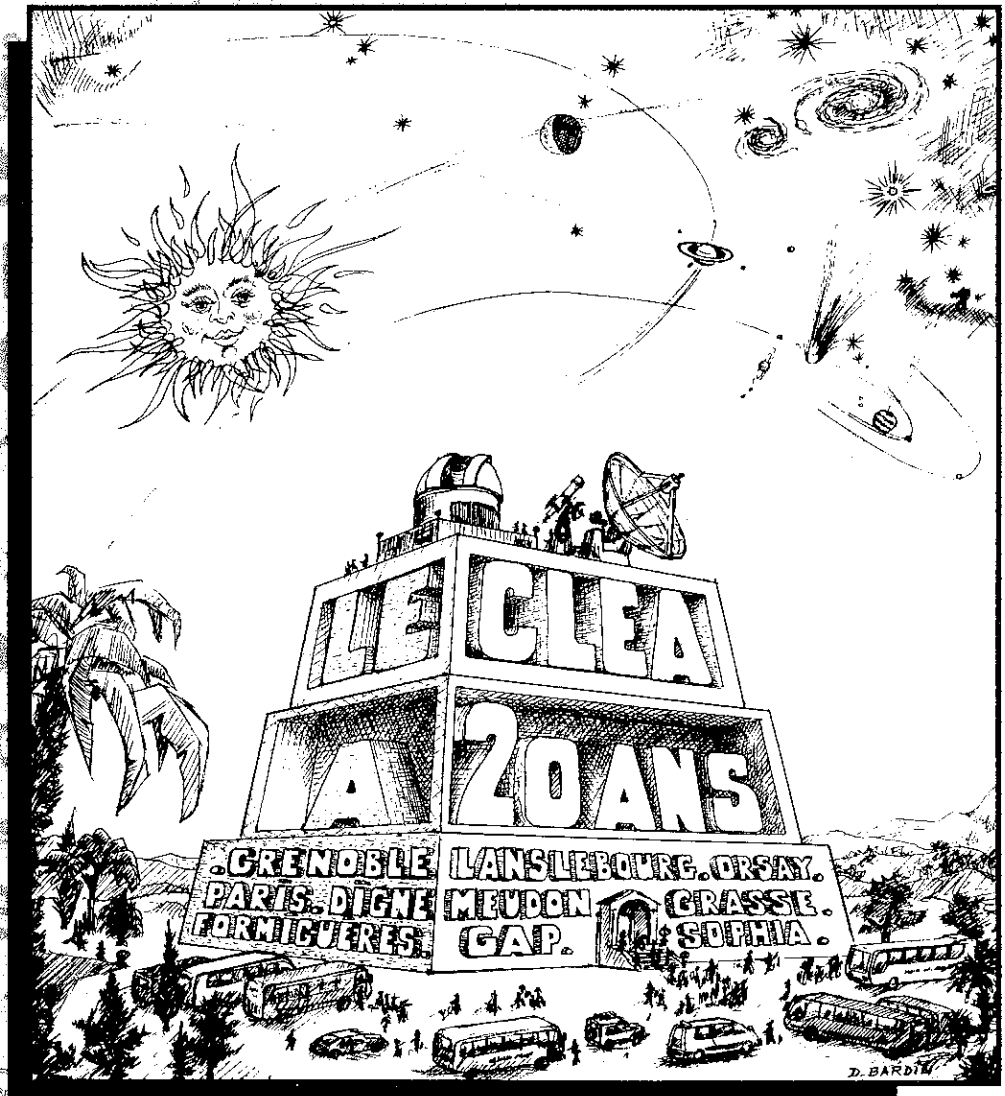
bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

---

# Les Cahiers Clairaut

Lectures  
pour la marquise

et se  
Hist  
Ré  
d'o  
Art  
for  
Réfle  
déb  
Info  
élèves  
Vic  
Tex  
exerc



Articles de fond

Les potins de la Voie lactée

numéro 84 - HIVER 1998-1999

ISSN 0758-234X

# Comité de liaison enseignants et astronomes

## Le CLEA

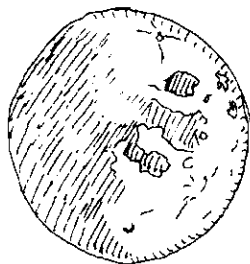
Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire.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

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.



## PUBLICATIONS DU CLEA p.C et p.D

### Bureau du CLEA pour 1998

#### Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER  
Evry SCHATZMAN

#### Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

#### Vice-Présidents

Agnès ACKER  
Marie-France DUVAL  
Jean RIPERT  
Josée SERT  
Gilbert WALUSINSKI

#### Secrétaire

Martine BOBIN

#### Trésorière-Secrétaire

Catherine VIGNON

Daniel Bardin  
Francis Berthomieu  
Martine Bobin  
Michel Bobin  
Lucette Bottinelli  
Pierre Causeret  
Jacky Dupré  
Michèle Gerbaldi  
Lucienne Gouguenheim  
Christian Larcher  
Georges Paturel  
Jean Ripert  
Jean-Paul Rosenstiehl  
Daniel Toussaint  
Michel Toulmonde  
Gilbert Walusinski

### Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Conception et réalisation de la mise en page : Sophie Durand

Le numéro d'hiver des Cahiers se fait traditionnellement l'écho du temps fort de la vie de notre association que constitue l'Assemblée Générale. Cette année encore celle-ci a réuni une centaine de participants à Orsay et nous pensons qu'il est important de rendre compte des contributions riches et variées qui l'ont nourrie.

L'Assemblée générale nous donne l'occasion de découvrir la richesse et la variété des activités qui se développent au sein du CLEA. Notre réflexion s'est portée en particulier sur ce que internet peut apporter à un projet éducatif. Comme à son habitude, le CLEA, à travers son site web, se fixe l'objectif de fournir des outils que chacun s'appropriera.

L'Assemblée Générale est aussi l'occasion de rencontres avec des groupes variés, aussi bien en France qu'à l'étranger. La présentation par deux collègues de l'opération "Lycée de nuit", conduite par l'ANSTJ et le projet de nos amis de Suisse romande de création d'une "LEA" ont suscité un intérêt particulièrement vif.

Néanmoins, les Cahiers demeurent cette année encore une priorité forte. Tant la nouvelle maquette de Sophie Durand que l'organisation des rubriques et leur équilibrage que nous devons au travail de Martine Bobin, sont unanimement plébiscités par les lecteurs. Il nous reste à faire mieux connaître notre revue et à susciter des abonnements. Vous pouvez nous y aider.

Vous pourrez découvrir dans ce numéro une nouvelle rubrique "remue-méninges". Pierre Causeret l'inaugure et nous espérons qu'elle deviendra aussi régulière que les "lectures" et les "potins".

Merci à tous les auteurs qui ont contribué à ce numéro ; à Marie-Claude Paskoff, Pierre Lerich, René Cavaroz, Bernat Martinez et Eliane Tardy qui apportent des contributions originales et diversifiées à la rubrique "avec nos élèves", à Laurence Portier qui propose une maquette qui donnera des idées aux professeurs d'école, à Maurice Carmagnole pour ses vœux mathématiques, à Francis qui nous fait rêver avec de belles histoires tirées de la mythologie de l'Inde ... Et à tous les autres.

Bonnes lectures à tous.

La Rédaction



### Article de fond

Mars - Approche  
bio-géologique

p. 2



### Avec nos élèves

Des lycéens dans les  
étoiles... doubles

(niveau lycée)

p. 5

Le pendule et l'étoile

(niveau lycée)

p. 10

Radioastronomie

solaire (niveau lycée)

p. 12

Sous le Soleil

exactement

(niveau collègue)

p. 17

Et pourtant

elle tourne...

(niveau collègue)

p. 20



### Réalisation d'objets

Style vertical  
ou style incliné

p. 21

### Remue-méninges

Coucher d'Orion

p. 24



### Curiosités

1999

p. 25



### Histoire

L'histoire de la vitesse  
de la lumière

p. 26



Mythes indiens

p. 30

### Lectures

pour la Marquise

p. 32



### Vie associative

Bilan et évaluation de  
l'UEA GAP 1998.

p. 34



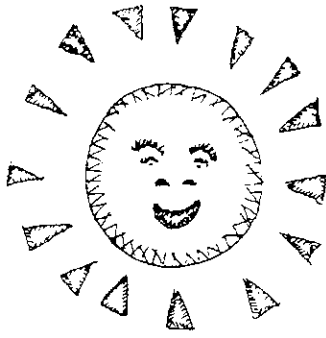
Compte-rendu de l'AG  
du CLEA 1998

p. 37

Les potins  
de la Voie lactée

p. 44





# Mars

## Approche bio-géologique de la planète rouge

Nicolas Defer

Nicolas Defer termine son article sur Mars en présentant les recherches de la vie sur la Planète Rouge. Les informations recueillies par la mission Pathfinder confirment qu'a existé, il y a plusieurs milliards d'années, un climat plus chaud et plus humide.

D'autre part si les météorites ne permettent pas de conclure actuellement au sujet d'une vie sur Mars, des espoirs sérieux reposent sur les prochaines missions programmées sur cette planète.

### Exobiologie sur Mars ou la recherche d'une vie passée ou présente

#### Hypothèse de l'eau donc de la vie

##### Corrélation entre l'eau et la vie

Avant tout, il convient de définir ce qu'on appelle un "être vivant", la "vie". La vie est un état et un ensemble d'actions et de réactions qui animent pendant un temps limité des systèmes naturels hautement structurés à toutes les échelles d'observation : les êtres vivants. On reconnaît l'être vivant à sa structure cellulaire. Les êtres vivants ne peuvent subsister qu'au prix d'une importante consommation d'énergie, apportée sur Terre par la lumière du Soleil. De plus, l'humidité, c'est-à-dire l'eau, est nécessaire pour la survie de l'être vivant.

Si l'eau liquide était présente sur Mars, il faudrait une température supérieure à 0°C et une pression au sol d'au moins 1 à 2 bars. Par conséquent, le climat de Mars était différent de celui qui règne actuellement. Mais était-ce suffisant pour que s'amorcent les processus de la vie ?

La vie est basée sur des échanges chimiques et cela suppose une libre circulation des molécules. Mais ces échanges sont plus ou moins rapides en fonction du milieu où se trouvent ces molécules. Ainsi, le liquide est un milieu idéal (par rapport au milieu solide ou gazeux) dans la mesure où chacune des molécules d'eau est un petit dipôle électrique. En effet, cette propriété permet à la molécule d'H<sub>2</sub>O d'établir des liaisons électrostatiques faibles avec des composés ayant cette même particularité (molécules de soufre, dioxygène ou molécules organiques qui sont les briques élémentaires de la vie). Mais elle n'attire pas les groupements carbone-hydrogène : de ce fait les protéines se trouvent attirées par une seule extrémité car elles sont constituées de groupements carbonés et hydrogénés (absence d'attraction) mais aussi oxygénés et soufrés (attraction). En conséquence, les protéines ont deux pôles distincts, l'un hydrophile, orienté vers le milieu aqueux, l'autre hydrophobe, s'en écartant. Elles acquièrent une structure grâce aux propriétés de l'eau, et s'ordonnent, ce qui conditionnera leur rôle biologique.

Sur Terre, la présence d'eau et celle de matière organique issue probablement de grains cométaires (il en tombe à peu près 20 000 tonnes par an) ont engendré la création du premier système moléculaire capable de s'autodupliquer, de se recopier, et d'évoluer par mutation. c'est-à-dire de faire des erreurs en se recopiant. Mais l'énigme est le fait de savoir comment ces deux éléments ont abouti à ce résultat.

En tout cas la chimie est reproductible. Des conditions et facteurs identiques doivent engendrer des processus et des réactions identiques. Sur Terre, les premières phases et étapes de la vie ont été effacées et nous sont inconnues, du fait de l'activité tectonique intense, du volcanisme et de la présence de dioxygène qui "efface" les signatures" de l'activité biologique. Mars, par contre les a conservées grâce à une faible tectonique en particulier, et nous donne l'immense espoir de connaître enfin les premières images du film de la vie, de résoudre peut-être le comment et la pourquoi de la vie.

### Les arguments en faveur de la présence d'eau dans le passé

Les images de Mars Pathfinder ont permis d'apercevoir de nombreuses pierres relativement rondes et orientées grossièrement dans la même direction, et de faire ainsi la rapprochement avec les galets roulés des fleuves terrestres. De plus, des lignes horizontales font penser à des dépôts sédimentaires fluviaux (les scientifiques parient sur des bassins sédimentaires à l'embouchure de lits d'écoulement ou au fond d'anciens lacs).

Le sable serait plus abondant que l'on ne le pensait à la surface de Mars (sur Terre, le sable est formé principalement par l'action de l'eau courante sur les roches).

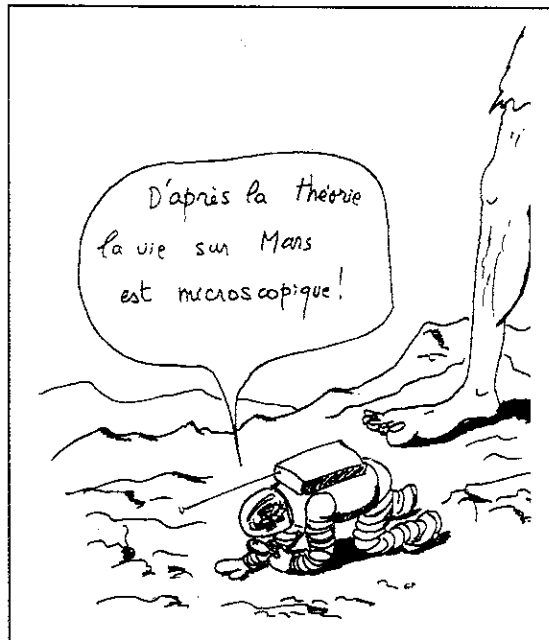
Les chenaux et vallées ont été très probablement modelés, créés par des flux d'eau liquide à une certaine époque, et ce, assez longtemps pour y laisser ces empreintes. Ainsi, certains scientifiques prônent de violentes débâcles d'eau souterraine ou l'action de sources chaudes hydrothermales à proximité des volcans qui auraient engendré des processus de sapement. Une autre hypothèse,

liée aux précédentes, est la présence d'eau (dont on ignore le volume) dans le sous-sol martien.

Il est très improbable de trouver une quelconque trace d'activité biologique passée à la surface de la Planète Rouge, de par l'altération et la stérilité de son sol. Si bien que les exobiologistes comptent sur les futures missions, notamment pour creuser et déceler des bactéries ou fossiles dans le sous-sol martien.

Ainsi, de nombreux chimistes privilégient l'étude de la "morphologie des roches" et la recherche de l'équivalent des stromatolites terrestres, formés il y a 3,5 milliards d'années par des colonies de bactéries.

Une autre possibilité moins coûteuse et aussi intéressante a priori est l'étude des météorites martiennes.



### **Les météorites : une preuve ?**

#### Analyse des météorites dites martiennes

Elles appartiennent à la catégorie des SNC (ce sigle désigne les initiales des lieux où sont tombées trois météorites de ce groupe : Shergottite, Nakhilite, Chassigny), et l'on en dénombre une douzaine actuellement. Cependant, il faut y apporter des nuances. En effet, seules quelques unes, dont ETA 79 001 (trouvée en Antarctique) et Zagami (Niger) ont des bulles de gaz certifiant leur origine martienne (ces bulles de gaz ont une composition chimi-

que et isotopique analogue à celle de l'atmosphère martienne analysée par les sondes Viking).

Mais on ne peut guère tirer d'indices d'ETA 79 001, dans la mesure où elle est trop contaminée par des éléments terrestres. Zagami, quant à elle, ne contient pas de "carbonates susceptibles de receler des fossiles".

Restait une météorite très valable selon la NASA, recueillie en 1984 en Antarctique<sup>1</sup>, où elle y reposait depuis 13 000 ans, après s'être détachée de Mars<sup>2</sup> il y a 15 millions d'années.

#### La météorite ALH84001, un espoir déçu<sup>3</sup>

Son âge est estimé à 4,5 milliards d'années, ce qui est exceptionnel, dans la mesure où les autres météorites de son groupe ne dépassent pas les 1,3 milliards d'années. On en déduit qu'elle s'est formée dans la croûte de Mars, constituée de à 98% de gros grains d'orthopyroxène, (un silicate de magnésium et de fer) entre 5 et 100 km de profondeur. Elle est peu altérée par l'eau ce qui montre qu'elle n'a pas résidé longtemps en surface. Elle présente des structures longilignes, très rapprochées les unes des autres, de taille infime (0,1 mm), qui ressemblent du point de vue de la forme, à des bactéries terrestres fossilisées mais de taille beaucoup plus réduite.

La révélation par la NASA en 1996 de traces de bactéries primitives présentes dans cette météorite a eu un grand retentissement dans le milieu scientifique. Très rapidement cette interprétation a été controversée.

On peut relire "les potins" du CC81 où il apparaît clairement que si la météorite est bien d'origine martienne, les molécules organiques sont d'origine terrestre, la météorite ayant été contaminée lors de son séjour sur Terre.

Les météorites représentent un outil intéressant mais elles ne permettent pas jusqu'à présent d'apporter des arguments en faveur de la vie, ni de démentir l'existence d'une quelconque vie passée sur Mars. Les espoirs les plus sérieux reposent sur les missions actuelles et futures sur Mars (cf. annexe).

## Annexe

### missions, passées, actuelles et futures sur Mars<sup>4</sup>

- \* 1964 : Mariner 4 (EU) survole Mars et envoie les premières images.
  - \* 1971 : Mars 3 (URSS) se pose sur Mars mais perd le contact avec la Terre ; Mariner 9 se met en orbite et cartographie la surface de la planète rouge.
  - \* 1976 : Viking 1 et 2 (EU) se posent sur Mars et réalisent des photos spectaculaires.
  - \* 1988 : la sonde Phobos (URSS) observe Phobos, l'un des deux satellites de Mars.
  - \* 1992 : Observer (EU), lancé le 25 septembre, perdra contact 11 mois plus tard le 21 août 1993.
  - \* 1996 : Mars 96 (Russie et Europe) explose le 16 novembre, peu de temps après son départ.
- La sonde Global Surveyor (EU) est envoyée en novembre.
- \* 1997 : la station Pathfinder (EU) s'est posée le 4 juillet à l'Est des volcans géants du mont Tharsis, sur Ares Vallis.

\* 1998 Mars Global Surveyor est actuellement pour une année martienne sur une orbite survolant les pôles pour dresser une carte des reliefs martiens et renouveler le relevé photographique de la surface.

La sonde japonaise Planet B, rebaptisée Nozomi (ce qui signifie à peu près espoir) a été lancée le 4 juillet 1998. Elle doit collecter, pour une année martienne, des données sur la ionosphère, le champ magnétique, les anneaux de poussière, et l'effet du vent solaire.

Mars Surveyor 98 (EU) sera lancé le 10 décembre pour être mis en orbite dès septembre 1999 et établir les communications avec un atterrisseur et deux microsondes devant se poser en décembre 1999, près du pôle sud. Le but de la mission est d'examiner les sols et de rechercher de l'eau ou de la glace.

\* Projets pour le début du XXI<sup>e</sup> s.

La mission Mars Surveyor 01 comportera un vaisseau spatial en orbite dès décembre 2001, un atterrisseur se posant en 2002 avec des expériences destinées à préparer l'exploration humaine (production de fuel sur place, caractérisation du sol et des poussières) et un petit véhicule.

La mission Mars Surveyor 03 enverra en mars 2003 un véhicule pour commencer à préparer la mission de retour d'échantillons du sol martien. Cette mission (Mars Surveyor 05) prévoit un départ en 2005, une arrivée sur Mars en 2006 ou 2007 et un retour sur Terre des matériaux en 2008.

L'ESA a un projet pour 2003, Mars Express, comportant un orbiteur et des atterrisseurs, destiné à cartographier la planète et à échantillonner son sol.

## Notes :

- 1 - A l'Ouest des monts Allan (Allan Hills), d'où son nom : ALH
- 2 - Elle aurait été arrachée de la surface martienne par un impact violent d'astéroïde puis captée par l'attraction terrestre.
- 3 - L'article de Nicolas Defer décrivait en détail la controverse sur l'existence de fossiles de bactéries martiennes sur cette météorite. Depuis il a été établi que la composante organique était d'origine terrestre et nous n'avons donc pas rapporté ce débat.
- 4 - Merci à Philippe Masson pour son aide précieuse.

## Orientation bibliographique

- MUTCH T.A., ARVISON R.E. :  
The geology of Mars, Princeton University Press 1976.
- LOUCHET A :  
La planète Mars, description géographique, Paris Masson, 1987
- TRICART J. :  
Le relief de la planète Mars, comparaison avec celui de la Terre, annales de géographie n° 530, 1986
- BATTISTINI R. :  
Les volcans du dôme de Tharsis, comparaison avec les volcans terrestres, revue de Géomorphologie dynamique, 1985, 3, p.81-109.
- BATTISTINI R. :  
L'utilisation des cratères météoritiques à ejecta fluidisés comme moyen d'études spatiale et chronologique de l'eau profonde (hydrolithosphère) de Mars, revue de Géomorphologie dynamique, 1984, 1, p.25-41
- DERRUAU M. :  
Précis de géomorphologie, Masson.
- MASSON P :  
La géologie de la planète Mars, La recherche, n°172, décembre 1985.
- MASSON P., BOUSQUET B. et al. :  
Articles sur la géologie de Mars, Bulletin de la société géologique de France.
- MASSON P :  
Mars et Vénus CC 73 (printemps 1996).
- GOLOMBEK M. :  
La mission Pathfinder sur Mars, Pour la Science, septembre 1998.





# Des lycéens dans les étoiles... doubles

Marie-Claude Paskoff et 5 élèves  
du lycée La Bruyère de Versailles

L'opération "Lycée de Nuit" lancée et suivie par l'ANSTJ pendant l'année scolaire 1997-1998 a donné l'occasion à un groupe d'élèves du lycée La Bruyère, à Versailles, de réaliser un véritable projet d'astronomie... Le thème retenu était :

"Étoiles doubles, vraies ou fausses?"

Il s'agissait en effet de différencier les couples formés d'étoiles liées gravitationnellement (qui sont de vraies étoiles doubles) des couples d'étoiles résultant d'un vrai effet d'optique. Pour cela, une démarche consiste à déterminer la distance à laquelle se trouve chacune des deux étoiles d'un couple : si les valeurs trouvées sont proches, on peut penser qu'il s'agit d'une véritable étoile double et réciproquement.

Bien entendu, ce projet n'avait pas la prétention de faire une découverte ! L'objectif était plutôt de mettre en œuvre et tester une méthode photométrique de mesure des distances, basée sur la notion d'indice de couleur.

**A**près un premier trimestre consacré à l'acquisition de notions théoriques (couleur et température des étoiles, classification des étoiles, diagramme H.R. etc...), le projet est entré en janvier 1998 dans sa phase de préparation active : apprentissage de la méthode photométrique à partir de documents, familiarisation avec la technique de la caméra CCD, recherche de documentation sur les étoiles doubles.

Enfin, c'est au cours d'un séjour à l'Observatoire de Haute Provence, du 16 au 20 avril 1998, qu'il a été possible de mener à bien l'étude de plusieurs systèmes d'étoiles doubles<sup>1</sup>.

À l'observatoire nous avons pu disposer du télescope de 80 cm, équipé de sa caméra CCD, et un technicien nous a accompagné pendant toutes les nuits d'observation. Par chance, nous avons eu trois nuits avec un ciel parfaitement dégagé et avons pu alors travailler jusqu'au lever du jour.

Un compte-rendu du travail effectué a été rédigé par le groupe (cf. § 2).

En premier lieu je voudrais présenter la méthode de mesure des distances d'étoiles par photométrie utilisant l'indice de couleur (B-V). Cette méthode est maintenant pratiquée avec une caméra CCD mais, à l'origine, elle l'était par photographies. Le principe demeure le même.

## 1 - Mesurer la distance d'une étoile en la photographiant... c'est possible !

### 1.1 - Rappel de quelques notions théoriques.

L'éclat observé  $E$  d'une étoile est lié à sa luminosité intrinsèque  $L$  et à sa distance  $d$  à l'observateur. En effet, la puissance rayonnée par une étoile se distribue sur une surface sphérique de rayon  $d$  et par suite,  $L = 4\pi d^2 \times E$ .

- La magnitude apparente visuelle  $m_V$  d'une étoile est une mesure de son éclat. La relation de définition est :  
 $m_V = -2,5 \log E + \text{cte}$ . Ainsi, plus l'étoile est brillante, plus  $m_V$  est petite.

- La magnitude absolue  $M$  d'une étoile est égale à la magnitude apparente qu'elle aurait si elle se trouvait à la distance conventionnelle de 10 parsecs (1 parsec = 3,26 années de lumière).

Par suite, une relation utile est :  $m - M = 5 \log d - 5$  où  $d$  est la distance de l'étoile, exprimée en parsecs.

Ainsi, connaissant  $m_V$  et  $M$  pour une étoile, on peut calculer sa distance  $d$ .

Pour déterminer la magnitude d'une étoile  $X$ , on procède par comparaison avec des étoiles voisines de l'étoile  $X$  et dont les caractéristiques sont déjà connues (catalogue d'étoiles). Ces étoiles serviront de référence et permettront de faire un étalonnage.

### 1.2 - Magnitudes et photographies.

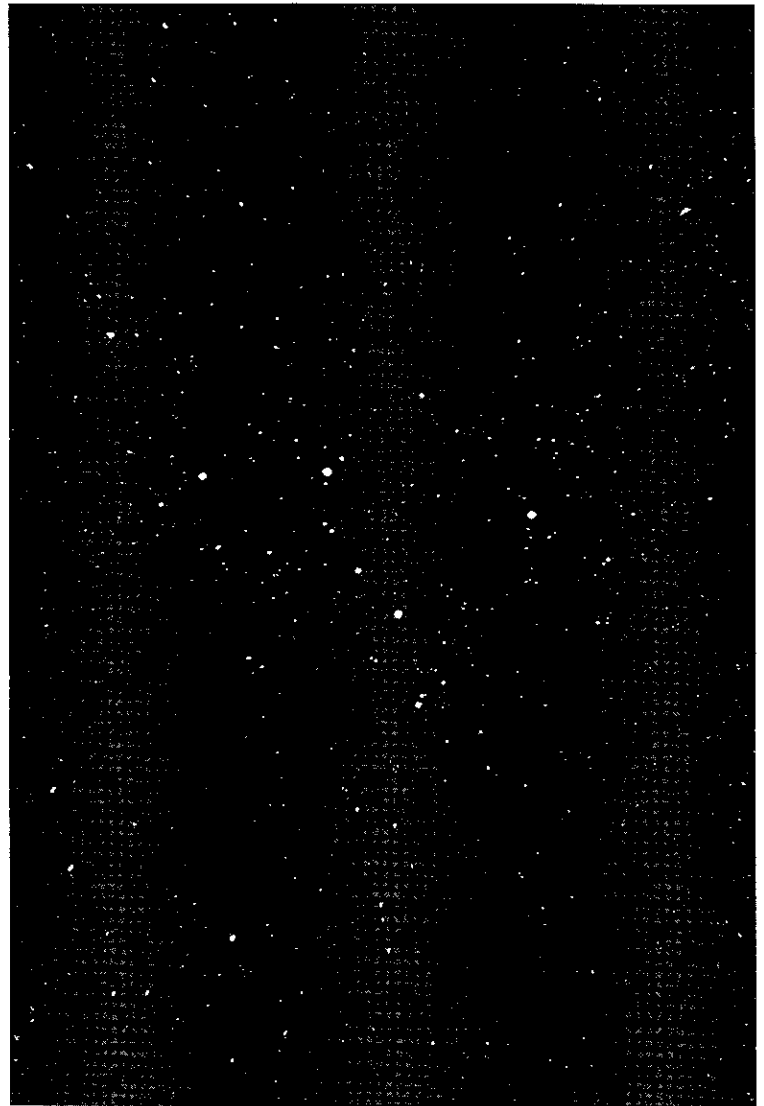
L'œil étant un mauvais instrument pour mesurer l'éclat des étoiles, on peut utiliser la photographie. Mais une pellicule photographique (noir et blanc) n'a pas la même sensibilité que l'œil. Cependant, en plaçant un filtre vert ( $\lambda \approx 550 \text{ nm}$ ) devant l'objectif, on a un résultat équivalent au visuel. On appelle  $V$  la magnitude ainsi obtenue, telle que  $V = m_V$ . On peut placer aussi d'autres filtres, et on obtiendra de même une magnitude  $B$  (bleu),  $R$  (rouge),  $U$  (ultraviolet), etc. ...

Pour obtenir un cliché exploitable, il faut poser un certain temps (plusieurs minutes) et donc avoir un bon dispositif de suivi ; l'appareil photographique peut être installé en parallèle sur un petit télescope motorisé et l'œil rivé à un oculaire réticulé assure le suivi.

On obtient ainsi un document où les différentes étoiles apparaissent comme des taches circulaires de taille différente (cf. fig.1 ci-contre).

On admettra que la tache obtenue sur la pellicule (ou sur l'écran de projection) pour une étoile est proportionnelle à la quantité de lumière reçue de cette étoile : plus la tache est grosse, plus la magnitude est petite ; et inversement.

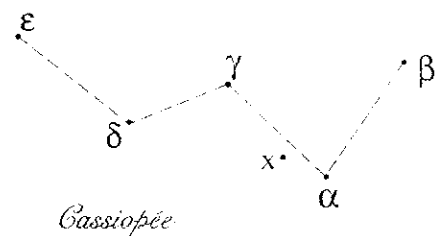
Figure 1



### 1.3 - Un exemple de détermination de $m_V$ .

Le document reproduit (fig. 1) est un cliché de la constellation de Cassiopee, effectué avec un filtre vert (Wratten n°58). Il a été réalisé par Marie-Claude Paskoff lors d'un stage ANSTJ, en septembre 1997. L'appareil photographique était équipé d'un objectif de 50 mm, la pellicule Tmax 400, le temps de pose de 10 min. Les étoiles de référence sont  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ . L'étoile de magnitude inconnue  $X$ , est située entre  $\alpha$  et  $\gamma$  (fig.2).

Figure 2





Le tableau et le graphe ci-contre (fig.3) montrent la détermination de  $m_V(X)$ , par corrélation linéaire. Les valeurs des diamètres ( $\varnothing$ ) des taches stellaires ont été obtenues en projetant le négatif sur un écran et en mesurant avec une simple règle graduée, à 0,5 mm près. Les valeurs de V pour les étoiles de référence ont été relevées dans le Sky Catalogue 2000. Le diamètre mesuré pour l'étoile X étant 4,5 mm, la valeur trouvée graphiquement pour  $m_V(X)$  est : 3,2 mm. La valeur obtenue dans le catalogue pour cette même étoile est : 3,45. Le résultat obtenu est donc acceptable à 7% près.

#### 1.4 - Magnitude absolue et indice de couleur

La magnitude absolue, M, d'une étoile est fonction de sa luminosité L. La relation est, comme vu précédemment :

$$M = - 2,5 \log L + \text{cte.}$$

Plus l'étoile est lumineuse, plus M est petit.

La luminosité d'une étoile dépend de sa température de surface et sa couleur dépend aussi de cette température. Une étoile bleue est beaucoup plus chaude ( $\approx 10\,000\text{ K}$ ) qu'une étoile rouge ( $\approx 3\,000\text{ K}$ ).

L'indice de couleur (B - V), différence entre les magnitudes apparentes obtenues avec des filtres B et V, renseigne sur la couleur de l'étoile. Si (B - V) > 0, l'étoile est jaune ou rouge. Si (B - V) < 0, l'étoile est plutôt bleue.

Par ailleurs, la température externe d'une étoile est un indicateur de son stade d'évolution et permet de la situer dans le diagramme H.R. de classification des étoiles. Ce diagramme fait donc apparaître la corrélation entre l'indice de couleur d'une étoile de classe connue avec sa magnitude absolue. Ainsi que le montre le croquis ci-contre (fig.4), très schématisé, si on connaît la classe d'une étoile (qui est liée à son spectre) et si on connaît son indice de couleur, on peut connaître sa magnitude M.

En théorie, il suffit donc de déterminer successivement les magnitudes V et B d'une étoile pour connaître son indice de couleur (B - V) et en déduire sa magnitude absolue. En réalité, cette méthode ne peut être que très approximative car les sources d'erreur sont nombreuses.

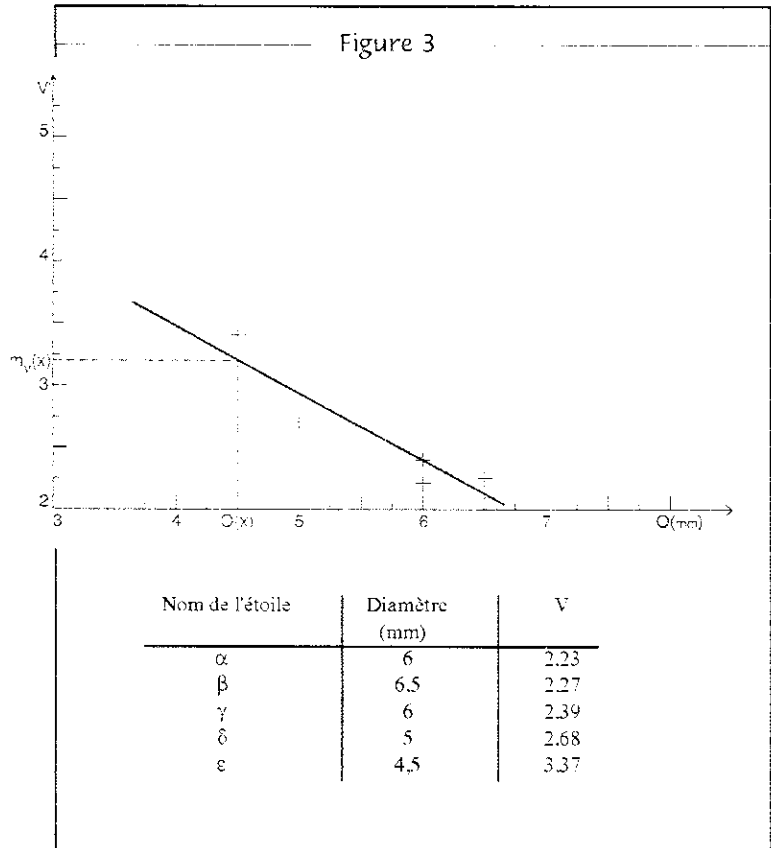
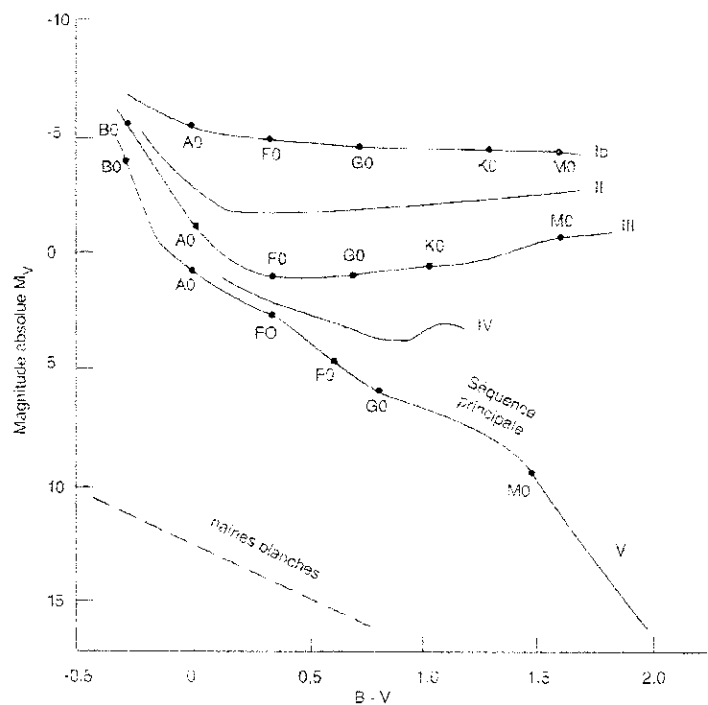


fig.4 : diagramme H.R.



## 2 - Étoiles doubles : vraies ou fausses ?

L'étude entreprise sur des couples d'étoiles a pour objectif de différencier les couples d'étoiles liées gravitationnellement (qui sont de vraies étoiles doubles), des couples qui résultent d'un effet d'optique. Pour cela, il convient de déterminer à quelle distance se trouve chacune des deux étoiles formant la double.

La méthode de mesure des distances utilisée est la méthode photométrique basée sur l'indice de couleur (B - V). Elle est appliquée à des images obtenues par une caméra CCD installée sur un télescope de 80 cm. Le logiciel d'analyse des images est "Prism", fourni par l'ANSTJ.

### 2.1 - Démarche expérimentale.

Les différentes étapes sont :

• **Sélection de l'étoile double**, à partir des critères suivants :

- séparation des composantes : comprises entre 16" et 30", étant donnée la dimension du capteur et la nécessité d'avoir deux étoiles bien séparées ;
- magnitude (V) de celles-ci supérieure à 6 afin d'éviter la saturation des images sur le capteur (seuil de lumière à ne pas dépasser) ;
- localisation dans le ciel, en fonction de la date et de l'heure d'observation : dans les constellations Grande Ourse et Lion.

• **Sélection d'étoiles de référence**, qui permettront d'effectuer un étalonnage ; il faut au minimum trois étoiles qui doivent :

- se situer sensiblement à la même hauteur que l'étoile double, en raison de l'absorption atmosphérique ;
- avoir une magnitude (V) voisine de celle des composantes de la double ;
- être répertoriées dans le catalogue U.B.V. (Merrilliod) afin de connaître d'une part V et d'autre part leur indice de couleur (B - V), ce qui permettra d'en déduire B.

• **Acquisition des images avec la CCD** : on réalise successivement des prises d'images de l'étoile double et des étoiles de référence, avec un filtre vert ( $\lambda = 550$  nm) puis avec un filtre bleu ( $\lambda = 450$  nm), en adaptant le temps de pose (de 1 à 90 s).

• **Traitement des images** : en utilisant les offset et les flat, on débarrasse les images des biais (défauts) et l'on obtient pour chacune une valeur du flux reçu.

- offset : permet d'éliminer les défauts d'une image liés aux imperfections de la caméra CCD ; on fait une prise d'image à obturateur fermé. Les informations obtenues sont ensuite retranchées à l'image de l'étoile ;

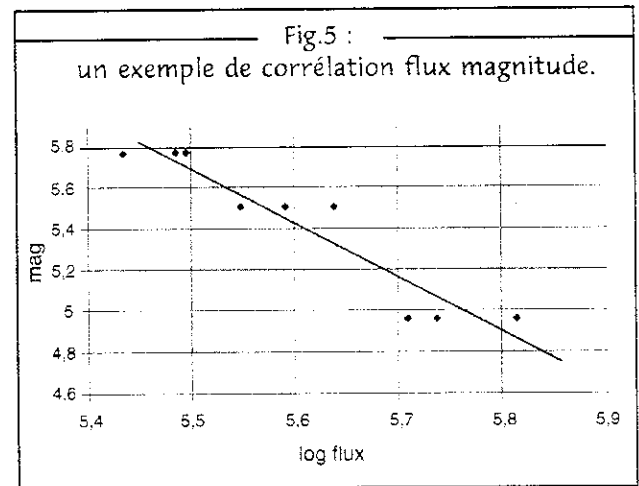
- flat : permet de corriger les défauts dus à l'hétérogénéité de réponse du capteur. ; on fait une prise d'image d'un écran uniformément clair (par exemple une portion du ciel au lever du jour).

Les informations obtenues sont traitées puis réinjectées à l'image.

• **Détermination des magnitudes (V) et (B)** : on établit, grâce aux étoiles de référence, une relation linéaire entre le logarithme du flux par seconde et la magnitude (V) ou (B).

Le graphique ci-dessous (fig. 5) montre un exemple de corrélation ; on remarquera que, pour chacune des trois étoiles de référence, on a utilisé trois prises d'image avec le même temps de pose.

On en déduit la valeur de (V) et de (B) pour chacune des deux étoiles du couple étudié. Par suite, on connaît l'indice de couleur (B - V) pour les deux composantes de l'étoile double.



• **Détermination de la magnitude absolue M** : à l'aide du diagramme H.R. (indices (B - V) en abscisse, M en ordonnée), on obtient M pour chacune des étoiles du couple.

• **Calcul des distances** : à l'aide de la formule  $m - M = 5 \log d - 5$  (où  $m = V$ ) on obtient la distance d en parsecs.

### 2.2- Résultats obtenus.

Initialement, il était prévu d'étudier 8 étoiles doubles, sélectionnées dans la "Revue des constellations" de la Société Astronomique de France et identifiées par la lettre  $\Sigma$ .

On a réalisé plus de 200 acquisitions d'images et, finalement, on a retenu les valeurs pour 4 étoiles doubles seulement.

Les résultats sont indiqués dans le tableau de la page ci-contre : l'identification de chaque étoile double a été précisée selon la classification du catalogue Hipparcos récemment publié (cf. CC81 p. 40).

A titre indicatif, on a reproduit dans la dernière colonne du tableau les valeurs des distances données dans ce même catalogue.

Nom de l'étoile double	D <sub>1</sub> (en pc)	D <sub>2</sub> (en pc)	références Hipparcos
Σ1315 HIC 45206-45208	211	254	D <sub>1</sub> = 101 pc D <sub>2</sub> = 126 pc
Σ1321 HIC 45343-120005	6.1	6.3	D <sub>1</sub> = 6.2 pc D <sub>2</sub> = 6.3 pc
Σ1415 HIC 50433-50435	90	47	D <sub>1</sub> = 93.5 pc D <sub>2</sub> = 64.1 pc
Σ1540 HIC 55846-55848	38	81	D <sub>1</sub> = 17.6 pc D <sub>2</sub> = 18 pc

Pour Σ1540 l'expérience est médiocre (saturation)

### 2.3 - Commentaires et critiques

- Pour le pointage, il faut connaître les coordonnées actuelles des étoiles tandis que, dans le catalogue Merilliod (catalogue of mean UBV data on stars), les coordonnées sont données pour l'année 1950. Une correction est donc nécessaire. De plus, les informations recueillies dans les différents catalogues consultés présentent souvent quelques différences (par exemple la valeur de V).

- Le nombre d'étoiles de référence, trois, utilisées pour établir la corrélation entre le flux et la magnitude est à peine suffisant.

- Dans certains cas, en raison de la trop faible magnitude (trop de lumière) il y a eu peut-être saturation du capteur.

- Les temps de pose utilisés étaient parfois faibles (1 à 2 s). Dans ces cas, les temps d'ouverture et de fermeture de l'obturateur ne sont pas négligeables et sont la cause d'une certaine erreur sur la valeur du flux capté.

- Par ailleurs, l'épaisseur de la séquence principale rend très imprécise la détermination de M ; c'est là sans doute la plus grande cause d'erreur : on a pu l'estimer, dans certains cas, à plusieurs dizaines de parsecs !

- Pour déterminer M avec le diagramme H.R, on a supposé que chaque étoile de la double appartenait à la séquence principale ; il aurait fallu pouvoir le vérifier en recherchant la classe spectrale de chaque étoile.

### 2.4 - Conclusions

Comme on vient de le voir, les résultats obtenus sont entachés d'une incertitude importante liée à la méthode suivie et aux conditions expérimentales. Cependant on peut conclure que :

- si les distances trouvées sont de valeur voisine (c'est le cas de Σ1321), il y a une forte probabilité pour que le couple soit une vraie double.

- si les distances trouvées sont très différentes (Σ1315, Σ1540 et Σ1415), on penchera pour une fausse double.

Il est intéressant, par ailleurs de comparer nos résultats aux valeurs des distances qui sont données dans le tout récent catalogue Hipparcos :

- pour Σ1321, l'accord est presque parfait.

- dans le cas de Σ1315, les valeurs du catalogue Hipparcos sont très différentes pour les deux composantes. Nous avons trouvé de même. Il s'agit donc certainement d'une fausse double. De plus on remarque que les rapports des distances sont du même ordre ( $D_2 / D_1 \approx 1, 2$ ) ; cela pourrait peut-être signifier la présence de matière interstellaire qui produirait un effet d'extinction et nous ferait croire les étoiles beaucoup plus loin qu'elles ne sont.

- pour Σ1415, nos résultats sont du même ordre de grandeur et il s'agit très certainement d'une fausse double.

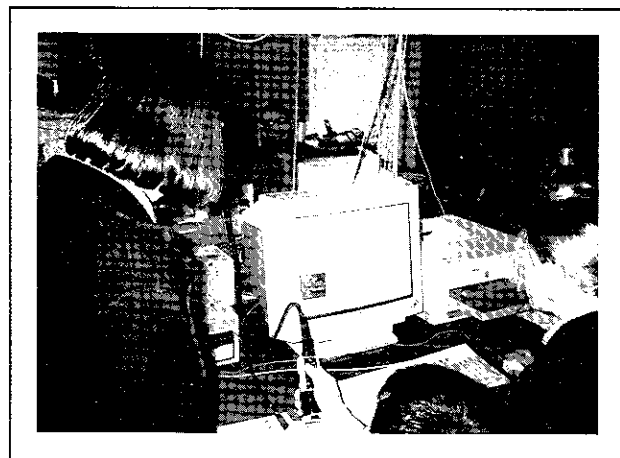
- pour Σ1540, nos résultats diffèrent notablement, et notre conclusion est mauvaise... Mais nous avons eu des difficultés à éviter la saturation des images d'où les mauvaises mesures.

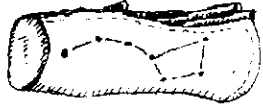
En conclusion, la méthode photométrique permet une évaluation des distances mais, à elle seule, elle ne peut permettre d'apporter une réponse sûre à la question de la nature d'une étoile double. L'observation d'une variation périodique de la séparation des étoiles serait une confirmation qu'il s'agit d'une véritable double.

Comme toujours, en astrophysique, c'est la convergence d'observations de nature différente qui permet d'établir une conclusion fiable.

#### Note :

Le groupe était constitué de 5 élèves de 1<sup>ère</sup> S (Clara Mouchara, Xavier Monty, Benoît Poyet) et de terminale S (Vanessa Beaufour et Allénoir d'Eyssautier) et d'une enseignante (Marie-Claude Paskoff). La présence avec nous d'un suiveur ANSTJ (Pascal Levy) a été précieuse.





# Le pendule et l'étoile

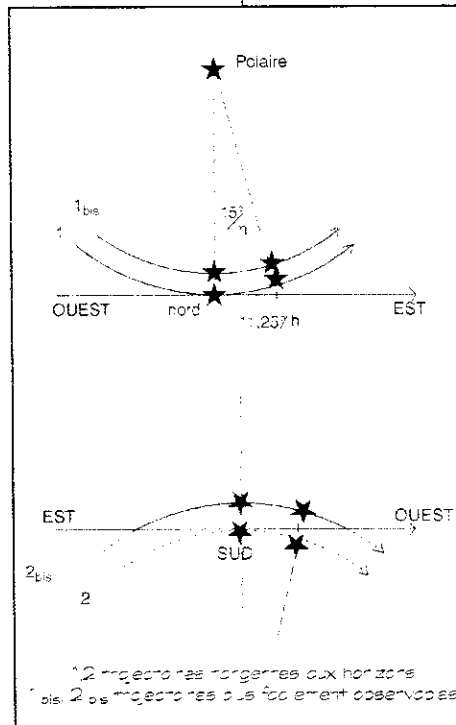
Pierre Lerich

Depuis la première expérience de 1851, le pendule de Foucault a toujours été présenté au public dans des lieux fermés, pour la raison évidente que le moindre courant d'air troublerait son mouvement et le rendrait imprévisible.

Cette obligation est regrettable car si on pouvait le faire osciller dans un lieu ouvert, et plus particulièrement la nuit, il serait facile de mettre en évidence la raison de cette curieuse rotation plus lente que celle de la Terre, dépendant du sinus de la latitude du lieu.

**S**upposons en effet qu'on vise une étoile avec le fil du pendule pendant que celui-ci oscille. Comme la direction indiquée par le pendule parcourt lentement l'horizon, il faut choisir une étoile qui elle aussi parcourt l'horizon, ce qui élimine toutes les étoiles animées d'un mouvement oblique, soit pour se lever, soit pour se coucher. Il faut éliminer aussi les étoiles ayant un mouvement horizontal mais loin de l'horizon, c'est à dire celles qui culminent à une certaine hauteur. Il reste alors deux sortes d'étoiles : celles qui passent à l'horizon au nord et qui suivent l'horizon pendant une heure ou deux avant de s'élever vers l'est ; et celles qui passent au sud et qui font de même

avant de plonger sous l'horizon vers l'ouest. Il suffit alors de lâcher le pendule en direction de cette étoile qui passe à l'horizon nord ou sud pour constater que l'alignement de cette étoile avec le fil du pendule se maintient pendant un certain temps avant que l'étoile monte vers l'est ou descende vers l'ouest sous l'horizon.



Quand le pendule sera éloigné de l'azimut nord-sud, il n'y aura plus d'étoile à viser directement, mais l'angle entre le plan actuel du pendule et une nouvelle étoile passant comme la première au nord ou au sud se maintiendra lui aussi pendant une heure ou deux, et ainsi de suite pendant 24 heures. Il suffit de changer d'étoile-repère dès que la coïncidence se dégrade.

Au total, le ciel aura tourné d'un tour en 24 heures et le pendule de  $24 \times 11,25^\circ = 270^\circ$  à Paris.

Il serait facile, en partant de la formule donnant l'azimut d'un astre, de calculer la variation de cet azimut quand l'astre frôle l'horizon nord ou sud, et de montrer que cette variation est précisément la même que celle du pendule à la même latitude, calculée en partant de notions de mécanique (repère mobile, accélération complémentaire). Que ce soit par la mécanique ou par l'astronomie, on rencontre de toute façon le sinus de la latitude.

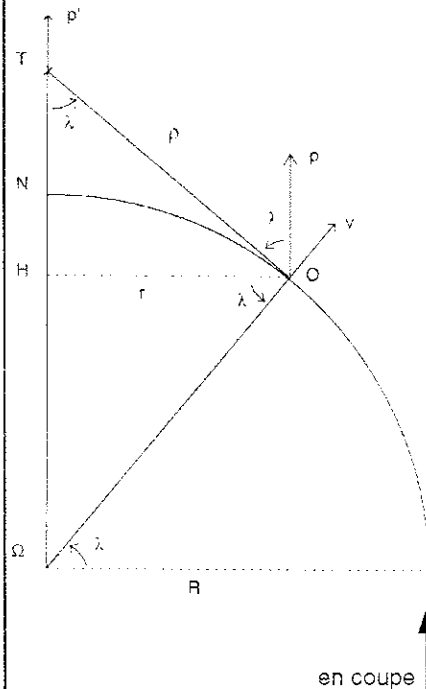
Si le résultat est le même, pourquoi expliquer le pendule d'une autre manière que dans les traités de mécanique ? En vérité, l'explication mécanique est un peu difficile et ne peut être développée que dans l'enseignement supérieur (premier cycle). Au contraire, considérer le pendule comme lié à l'étoile pendant un certain temps, c'est intuitif. Inutile même d'introduire le sinus de la latitude sinon à titre de vérification.

En outre, le pendule n'étant pas entraîné par le mouvement de la Terre, et les étoiles non plus, il est tout naturel que le pendule reste pointé vers une étoile convenablement choisie. C'est l'absence de ce lien naturel qui serait étonnante et difficile à expliquer.

Entre savants ce fut une belle empoignade dans les années 1850 pour savoir si le pendule était une question de mécanique ou de géométrie. Foucault lui-même préféra se tenir à l'écart de cette controverse entre spécialistes, tout étonné d'avoir déclenché une telle effervescence avec un objet aussi simple en apparence.

Aujourd'hui, la question du pendule est traitée dans tous les ouvrages de mécanique. Pourtant, si le pendule reste orienté pendant une heure ou deux vers la même étoile, c'est qu'aucune force ne le fait dévier. Tel était le point de vue de Foucault, mais la postérité en a décidé autrement et le pendule a finalement échappé à son inventeur, perdant beaucoup de son caractère intuitif et poétique.

NDLR :  
Illustration géométrique  
de l'intervention  
du sinus



$O_1T, O_2T$  : visées par l'observateur de son point cardinal nord ;  $O_1e_1, O_2e_2$  : visées par l'observateur de l'étoile en question.

$O_1p_1, O_2p_2$  : visées par l'observateur de l'étoile polaire :  $\lambda$  est la latitude de l'observateur.

Les angles  $O_1TO_2$  et  $TO_2e_2$  sont égaux ainsi que les angles  $e_1O_1p_1$  et  $e_2O_2p_2$ .  $l$  est la longueur de l'arc  $OO'$  i.e. la longueur du parallèle  $P$  de l'observateur soit  $2\pi r = 2\pi\rho \cdot \sin\lambda = l$

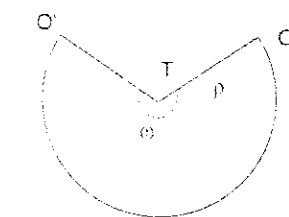
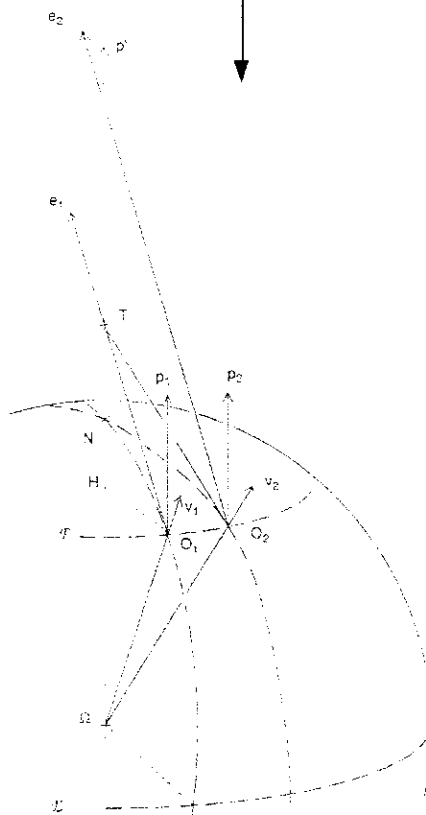
$\omega_{rad}$  est l'angle (en radians) du secteur circulaire constitué par le développement du cône de sommet T et de génératrice [OT]

$$\omega_{rad} / 2\pi = l / 2\pi\rho \text{ i.e.}$$

$$\omega_{rad} = l / \rho = 2\pi \cdot \sin\lambda ; \text{ donc}$$

$$\omega_{deg} = (360 / 2\pi) \omega_{rad} = 360 \cdot \sin\lambda.$$

en perspective



développement du cône de sommet T, de génératrice [TO]



AVEC NOS ÉLÈVES

# Radioastronomie Solaire

## Observations radioastronomiques au moyen d'une antenne pour la TV satellite

René Cavaroz, Aurélie Jeanne, Jacques Leconte,  
Gaëlle Lettier, Aurélie Matteos, Nicolas Robin,  
Cédric Targowski.

Ce mémoire est le fruit de la collaboration de lycéens (du lycée Alain Chartier de Bayeux) candidats aux Olympiades de physique, avec Bernard Darchy, ingénieur au CNRS, au centre de radioastronomie de Nançay. René Cavaroz, proviseur du lycée, a piloté ce travail qui s'est déroulé en plusieurs étapes, dont des missions d'observation du Soleil à Nançay. Lors de la semaine organisée à Bayeux dans le cadre du projet Européen Socrates Comenius les lycéens ont rencontré des élèves norvégiens et anglais.

### I - Notions sur la radioastronomie solaire

L'observation du Soleil par les ondes radioélectriques concerne essentiellement la couronne solaire. Il y règne des températures excédant parfois un million de degrés. En raison de ces hautes températures, le milieu est complètement ionisé : l'émission continue radioélectrique provient de ce gaz dont les électrons sont libres, que l'on appelle plasma.

Dans un plasma, seules peuvent se propager les ondes électromagnétiques dont la fréquence est supérieure à une certaine valeur (appelée fréquence dans le plasma) qui varie comme la racine carrée du nombre d'électrons par unité de volume. Cette propriété générale des plasmas présente un intérêt fondamental pour l'étude du Soleil. En effet, comme la densité de l'atmosphère décroît quand on s'élève en altitude, seules les longueurs d'onde les plus courtes peuvent se propager dans les couches les plus profondes et nous parvenir. A l'opposé, les longueurs

d'onde les plus grandes ne pourront nous parvenir que si elles sont formées dans les couches extérieures du Soleil.

Une conséquence immédiate en découle : quand on fixe la longueur d'onde d'un instrument, on détermine en même temps le niveau coronal que l'on étudie ; ainsi les ondes métriques proviennent d'un domaine de la couronne solaire s'étendant jusqu'à quelques rayons solaires au-dessus du disque visible alors que les ondes kilométriques proviennent du milieu interplanétaire.

Les problèmes abordés grâce à l'observation radioélectrique concernent :

- la structure de la couronne, gouvernée par le champ magnétique qui, en particulier, régit la façon dont s'échappe le gaz qui donne naissance au vent solaire. Ce vent constitue le milieu interplanétaire.

- l'étude de l'activité solaire dont les différentes manifestations sont étroitement associées à la présence des centres d'activité.

## II - Le projet

Il s'agit de régions qui sont caractérisées par des champs magnétiques importants, et dont les effets sont observables à travers toutes les couches du Soleil. C'est dans ces centres actifs que prennent naissance les éruptions, formidables explosions qui s'accompagnent d'éjections de masses de gaz, de particules accélérées et d'émissions de rayonnement, entre autres de rayonnement radioélectrique.

Très schématiquement, on distingue trois composantes dans le rayonnement radioélectrique solaire :

1) le Soleil "calme" dont l'émission est permanente et variable au cours du cycle solaire de 11 ans. Cette émission provient d'une part de régions de champ magnétique ouvert, les trous coronaux, sources principales du vent solaire, et d'autre part des différentes arches coronales qui représentent une multitude de boucles de champ magnétique fermées s'élevant à diverses altitudes.

2) l'émission "lentement variable" qui varie lentement de jour en jour et à l'échelle de l'heure.

Cette émission provient de régions localisées : les condensations coronales surplombant les centres d'activité et les jets coronaux surplombant les protubérances.

3) les sursauts radioélectriques, le plus souvent, accompagnent les éruptions. Leur origine est variée. Ils sont émis au cours de la propagation dans la couronne de jets d'électrons rapides, d'ondes de choc ou de nuages de particules ionisées. Leur durée varie d'une fraction de seconde à plusieurs heures.

L'étude de ces sursauts a traditionnellement représenté à Nançay un domaine de recherche important. L'intérêt de cette étude réside dans la compréhension des éruptions, des mécanismes d'émission du mouvement radio. Ces sursauts nous renseignent également sur la nature des perturbations d'origine solaire qui parviennent dans l'environnement terrestre.

Il s'agit non seulement d'étudier ces perturbations mais également de les prévoir.

C'est le domaine de la prévision de l'activité solaire dont les observations obtenues à Nançay, quotidiennement depuis plus de trente ans, apportent une contribution très précieuse.

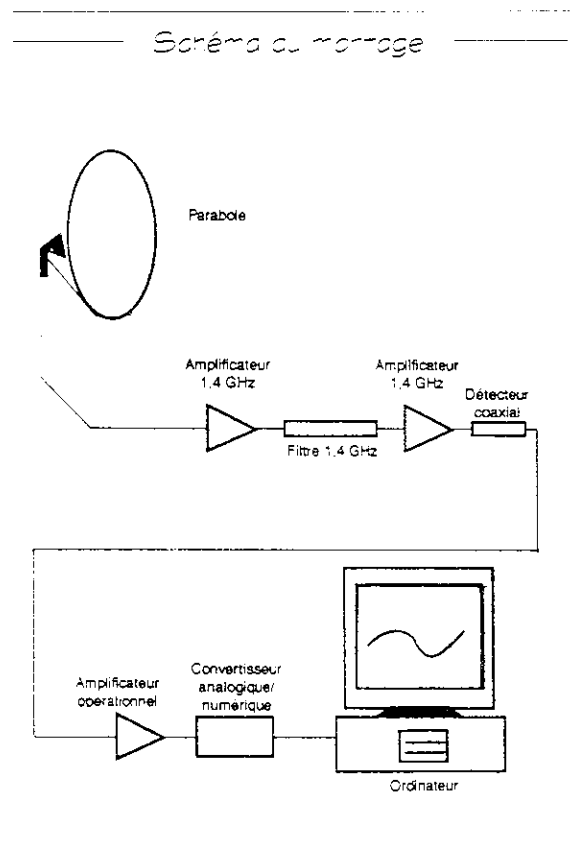
Les instruments solaires de Nançay permettent l'étude de ces trois composantes. Ils confèrent à cette station une position de choix car ils sont complémentaires : couvrant un domaine de fréquence s'étendant des ondes centimétriques aux ondes décimétriques, ils autorisent le sondage sur une zone étendue de la couronne depuis une fraction de rayon solaire au-dessus du disque visible jusqu'à quelques rayons solaires.

D'autre part, on obtient d'un même phénomène à la fois des images et des spectres..

### I - Objectifs

Il s'agit de mesurer le **diamètre apparent** du disque solaire et la **température de brillance** du Soleil à l'aide d'un dispositif comprenant une antenne pour la TV satellite

### 2 - Description de la parabole TV satellite



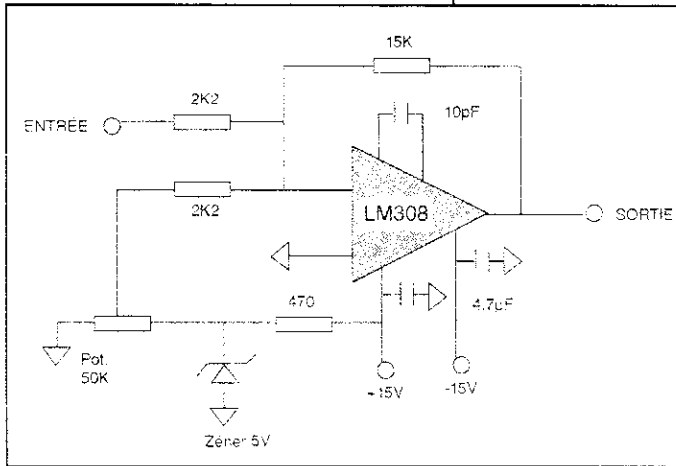
#### Généralités sur le kit TV satellite

Les antennes pour la réception de la télévision par satellite sont conçues pour fonctionner entre 10,5 et 11,5 GHz.

Elles sont équipées d'un changeur de fréquence placé juste derrière le cornet focal. Ce changeur de fréquence abaisse la fréquence des signaux captés par l'antenne et les transpose entre 950 et 2050 MHz.

Le tiroir démodulateur vendu avec la parabole est évidemment indispensable pour recevoir les signaux TV mais il n'est pas utilisable pour la réception des ondes émises par les astres. En effet, il n'est sensible qu'à des signaux transportant une modulation spéciale pour laquelle il a été conçu et cette modulation n'existe pas dans les signaux astronomiques.

## Schéma du boîtier amplificateur opérationnel



Ce montage est réalisé sur une plaque de circuit imprimé de  $50 \times 25$  (mm) et inséré dans un petit boîtier Pomona, de dimensions  $55 \times 35 \times 25$  (mm), avec des connecteurs BNC pour l'entrée et la sortie.

### Matériel annexe

Le dispositif de réception des signaux radioastronomiques comporte les éléments suivants :

- deux amplificateurs capables de fonctionner entre 1 et 2 GHz ;
- un filtre de quelques dizaines de MHz de largeur entre 1 et 2 GHz ;
- un détecteur coaxial bande large ;
- un amplificateur opérationnel.

Il faut ajouter à ces éléments un enregistreur papier ou un PC équipé d'une carte de conversion analogique / numérique.

## 3- Fonctionnement d'une observation avec la parabole TV

La parabole doit être installée sur une monture orientable. La motorisation n'est pas indispensable pour commencer mais on doit pouvoir pointer la parabole avec précision.

### Largeur du lobe de la parabole

Rappelons que c'est l'angle solide  $\Omega$  à l'intérieur duquel la parabole reçoit des signaux. Or le lobe de la parabole est relativement étroit. La largeur du lobe d'une antenne de diamètre  $D$  fonctionnant à une longueur d'onde  $\lambda$  est environ  $\Omega = \lambda / D$  (en stéradians).

La parabole mesure 0,7 m de diamètre et la longueur d'onde observée vaut :

$$\lambda = c / F = 3 \times 10^8 / 11 \times 10^9 \text{ soit } \lambda = 0,027 \text{ m donc } \Omega = 0,038 \text{ radian ou } 2^\circ 13'$$

La largeur du lobe de l'antenne valant  $2^\circ$  environ, il faut être capable de la pointer avec une précision supérieure à  $1^\circ$  ce qui n'est pas très facile. Le pointage peut aussi être compliqué par le fait que le dispositif focal des paraboles TV est la plus souvent excentré. Il est alors quasi impossible de repérer simplement la direction visée par l'antenne.

### Pointage "optique"

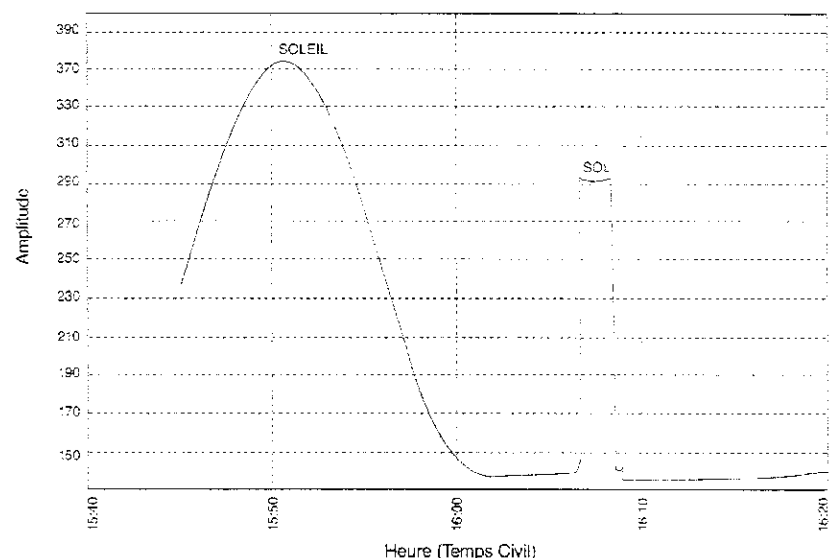
Par beau temps, l'observation du Soleil est grandement facilitée par l'image optique qui se forme au foyer de la parabole ; on voit très aisément, quand l'antenne est bien pointée, que la surface du cornet est éclairée par le rayonnement solaire. Si la parabole n'est pas suffisamment réfléchissante, un morceau de papier blanc collé à la surface de la parabole améliorera le pointage optique. Pour toutes autres radiosources on ne peut évidemment pas profiter de cette possibilité.

### Observation en position fixe

Nous nous limiterons pour commencer à l'observation du Soleil par beau temps ou très peu couvert. On utilise alors le pointage optique. L'observation consiste à placer l'image du Soleil juste au bord droit du cornet et à enregistrer le passage du Soleil dans le lobe de l'antenne en laissant l'antenne immobile et en profitant de la rotation terrestre. Un tel enregistrement doit durer au moins 30 minutes et doit débiter quelques minutes avant l'entrée du Soleil dans le lobe de l'antenne et finir quelques minutes après sa sortie de façon à pouvoir déterminer une ligne de base.

Au début et à la fin de l'enregistrement, il faudra exécuter un étalonnage de sensibilité en pointant l'antenne vers le sol.

Observation du Soleil lors de la mission à Nançay en septembre 1997





### Largeur à mi-puissance, largeur du Soleil.

La largeur à mi-puissance (de 15 h 45 min à 15 h 56 min) vaut approximativement 11 minutes de temps. Sachant que la Terre tourne de  $1^\circ$  toutes les 4 minutes de temps, 11 minutes de temps équivalent à une variation angulaire de  $2^\circ 45'$ . Comme la largeur du lobe est de  $2^\circ 13'$ , on peut en déduire que le diamètre apparent du Soleil est de  $32'$  environ.

### Température de brillance du Soleil.

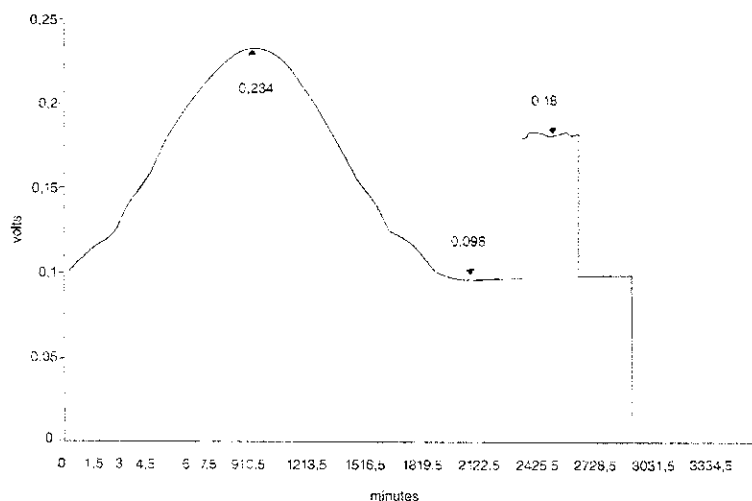
On étalonne le radiotélescope en dirigeant l'antenne vers le sol. On peut alors estimer qu'elle reçoit du sol un signal dont la température est de 300 K et qui couvre la totalité du lobe. La variation obtenue en sortie est environ de 153 divisions par rapport à la ligne de base mesurée sur le fond du ciel.

Lorsque l'antenne est dirigée vers le Soleil, la variation en sortie est de 218 divisions par rapport au fond du ciel mais on doit tenir compte du fait que le Soleil ne couvre pas tout le lobe de l'antenne :  $32'$  sur  $2^\circ$  représentent un rapport de 0,25 en diamètre soit 0,0625 en surface.

Donc la température de brillance du Soleil est environ :

$$(300 \times 218 / 153) \times (1 / 0,0625) = 6850 \text{ K.}$$

Observation du Soleil au lycée Cromer de Baveux  
le samedi 08 novembre 1997



### Température de brillance du Soleil.

Lorsque l'antenne est dirigée vers le Soleil, la variation en sortie est de 136 divisions par rapport au fond du ciel.

Lorsque l'antenne est dirigée vers le sol, la variation en sortie est environ de 84 divisions par rapport à la ligne de base mesurée sur fond du ciel.

La température de brillance vaut environ :

$$(300 \times 136 / 84) \times (1 / 0,0625) = 7770 \text{ K.}$$

D'autres observations sont possibles sur le Soleil : par exemple une poursuite continue pourrait être intéressante. Elle permettrait une surveillance du niveau du soleil calme et une étude des sursauts de type IV, en période d'activité solaire. Mais elle nécessite une motorisation automatisée de l'antenne.

Des radiosources autres que le Soleil devraient être détectables (Cassiopée A, Cygnus A, etc...). Ce point demande confirmation car les signaux captés par l'antenne doivent être extrêmement faibles.

*Noter que la météorologie peut influencer considérablement la réception. La fréquence est élevée et atteint le domaine dans lequel la propagation des ondes est fortement affectée par les nuages et surtout par la pluie.*

## 4 - Bilan provisoire.

### Diamètre apparent du Soleil :

La valeur de la largeur à mi-puissance obtenue lors d'expériences réalisées à Nançay en février et septembre 1997 est de 11 minutes de temps.

Elle varie entre 9,5 et 10 minutes de temps lors des expériences réalisées au lycée Chartier en octobre et novembre 1997 avec une autre antenne (Philips - diamètre 75 cm).

Compte-tenu de l'éclairement non uniforme de la parabole par le cornet d'une part et d'autre part des différences observées lors de ces expériences, il apparaît que la détermination du diamètre apparent du Soleil pose un problème complexe mais néanmoins très intéressant. Il est donc nécessaire d'analyser tous les paramètres et en particulier la fonction d'antenne et la fonction émissive du Soleil.

### Température de brillance :

En relevant sur chaque graphique les valeurs des variations en sortie pour le Soleil et pour la Terre, par rapport au fond du ciel et en tenant compte du coefficient de rapport de surface "Soleil antenne" de 0,0625 dans un premier temps et de 0,05 dans un deuxième temps pour tenir compte du facteur de dilution calculé par monsieur Lantos de l'Observatoire de Meudon, on obtient :

$T_{\text{brillance}} =$

$$300 \times (h_{\text{Soleil}} / h_{\text{Terre}}) \times (1 / \text{coeff.}).$$

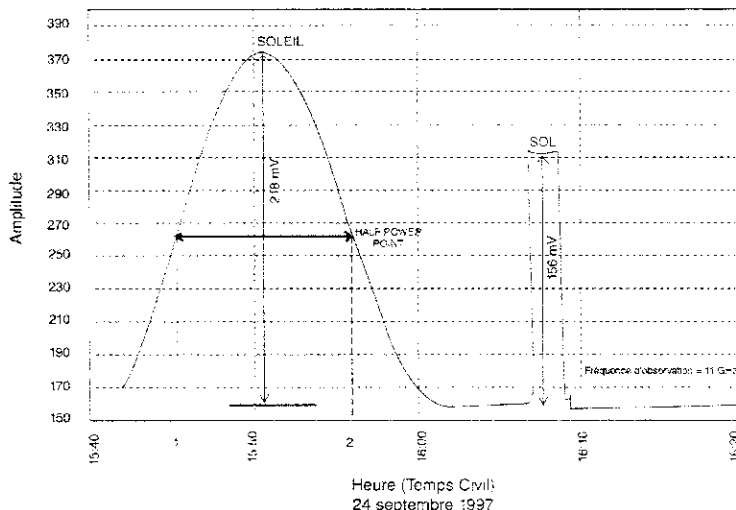
On peut estimer que la température de brillance du Soleil pour la partie basse de la région de transition est de l'ordre de 8 000 à 10 000 K et est donc nettement supérieure à la température de brillance de la photosphère.

La valeur moyenne donnée pour la température de brillance de la région de transition, en période calme est de 10 000 K.

**Complément** : à la suite de la semaine organisée à Bayeux dans le cadre du projet européen Socrates Comenius, Richard Field (Oundle School, Peterborough, UK) a rédigé le document ci-dessous.

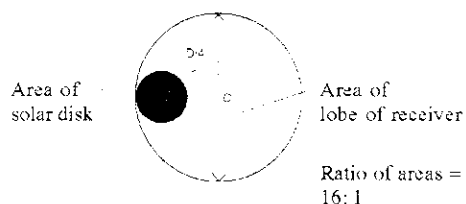
### Solar radio astronomy experiment.

The satellite TV dish is pointed at the sun and adjusted to obtain a signal directly of the receiver horn. The 11 GHz signal has a bandwidth of 20 MHz and is amplified and integrated to give the datalogged signal shown below. The solar image is approximately one quarter of the diameter of the main lobe of the dish receiver. The receiver is pointed at the ground to calibrate its sensitivity to temperature - this time the signal covers the whole lobe.



#### Theory : solar surface temperature :

- Amplitude of solar signal above signal noise : 218 mV
- Amplitude of soil signal above signal noise : 156 mV
- Soil temperature : 295 mV
- True amplitude of solar signal allowing for fraction of area of lobe covered by sun :  $218 \times 16 = 3488 \text{ mV}$
- Therefore solar temperature :  $(3488 \times 295) / 156 = 6596\text{K}$



#### Angular diameter of sun :

- Wavelength of signal,  $\lambda = 3 \text{ cm}$  ; diameter of dish,  $D = 80 \text{ cm}$ . Therefore width of main lobe of receiver (cf. single-slit diffraction) is  $\lambda / D = 3 / 80 = 0.0375 \text{ radians}$ . This is equivalent to  $2^\circ 9'$  of arc.
- The half-power points of the signal are at 15:45 h and 15:55.9 h (1 and 2 on diagram).
- So the signal width =  $55.9 - 45 = 10.9'$ .
- As the sun moves  $360^\circ$  in 24 h, it will move  $1^\circ$  in 4 minutes, and so in  $10.9'$  it would move  $2^\circ 43.5'$  and the sun's width is thus  $2^\circ 43.5' - 2^\circ 9' = 34.5 \text{ minutes of arc}$ .





# Sous le Soleil exactement...

Bernat Martinez

*traduit par Josette Berthomieu*

Cet article est le premier élément d'une réflexion sur les conceptions initiales des élèves. Dans le prochain numéro, une deuxième enquête sera décrite, partant des mêmes objectifs mais menée cette fois sous une forme différente, le mode d'expression choisi étant le dessin. Puis vos idées, vos réflexions, voire votre propre participation pourraient permettre de dégager quelques pistes dans la recherche d'activités pédagogiques nouvelles.

## Introduction.

B. Martinez enseigne l'astronomie à des élèves du niveau "collège" en Espagne. Chercheur en didactique, il a mené une très sérieuse enquête sur les conceptions initiales des élèves. Il a également fait le même type d'enquête auprès d'étudiants plus âgés et d'enseignants en astronomie. Son travail se basait sur divers questionnaires et entretiens. Vous trouverez ci-après la version française du premier de ces questionnaires. Lorsqu'il m'a proposé de tester quelques groupes d'élèves français, j'ai accepté de tenter l'expérience avec deux classes d'élèves de seconde (notés "15 ans" sur le graphique). Pour aller un peu plus loin, j'ai également proposé le même questionnaire aux élèves d'une classe préparatoire scientifique ("20 ans" sur le graphique), avec la courageuse complicité de leur professeur de physique. Les tableaux de la page suivante rendent compte des résultats de cette expérience. La belle corrélation des deux séries de résultats laisse perplexe... N'hésitez pas à proposer vous aussi ce questionnaire dans vos classes et tenez nous au courant de vos résultats !

Je laisse donc ici la parole à Bernat qui présente les conclusions de l'enquête réalisée en Espagne : elles constituent un parfait commentaire des résultats français... Belle preuve que l'Europe est déjà une réalité !

F. Berthomieu.

## Présentation de l'expérience.

Il est unanimement reconnu que la première étape d'un enseignement scientifique doit être la familiarisation des élèves avec le monde physique qui les entoure. Ils doivent observer et expérimenter directement pour acquérir leur propre bagage expérimental. En Astronomie, les élèves connaissent, dès le plus jeune âge, les principaux objets astronomiques : le Soleil, la Lune, les étoiles. Ils en perçoivent aussi clairement les mouvements. Il revient à l'école de les aider à multiplier et à organiser ces premières observations spontanées pour les transformer en un système structuré d'observations scientifiques.

L'objet de cet article est de présenter les idées que les élèves se font sur les observations astronomiques élémentaires : j'entends par là celles qui se réfèrent au Soleil. (Celles relatives à la Lune et aux étoiles sont en effet bien plus délicates à analyser).

L'analyse des réponses à un court questionnaire va nous permettre de vérifier si les élèves, grâce aux expériences réalisées, sont arrivés à percevoir l'existence de symétries dans le fonctionnement des deux cycles fondamentaux : le jour et l'année. Le questionnaire se réfère donc uniquement aux observations du Soleil.

Pendant un jour, le mouvement observable du Soleil est approximativement symétrique: les positions de lever et de coucher du Soleil sont équidistantes du Sud, point où il atteint sa hauteur maximale sur l'horizon.

Le cycle annuel se divise, lui aussi approximativement, en deux parties symétriques : La première commence au solstice d'hiver et se termine au solstice d'été. Les jours sont chaque fois plus longs puisque le Soleil se lève et se couche chaque fois plus loin du Sud et que sa hauteur au midi est alors plus importante. Dans la deuxième partie, le cycle se referme puisque les changements se produisent en sens inverse. Ces observations s'organisent selon trois points : évolution de la durée du jour, positions des lever et coucher du Soleil, hauteurs du Soleil au dessus de l'horizon.

## Questionnaire : observations astronomiques.

### 1- La durée du jour.

1.1 - Nous savons que la durée des jours (c'est à dire les heures de Soleil) n'est pas la même tout au long de l'année. Cela dit, sais-tu combien de jours dans l'année ont 12 heures de soleil ?

- a. Aucun
- b. Un (Lequel ?)
- c. Deux (Lesquels? Approximativement)
- d. Autre réponse

1.2 - Un ami te dit : "je préfère l'été au printemps, car en été, les jours sont plus longs qu'au printemps " Qu'en penses-tu ?

- a. En été, les jours sont plus longs qu'au printemps.
- b. Au printemps, les jours sont plus longs qu'en été.
- c. Les jours sont aussi longs au printemps qu'en été.
- d. Autre réponse.

### 2- La position du lever/coucher du Soleil.

2.1 - Imagine qu'un jour (par exemple le 20 mars) tu observes le lever du Soleil ; tu as une boussole et tu vérifies que le Soleil se lève à l'Est. Si tu observes le lever du Soleil un mois plus tard, que crois-tu qu'il se passera?

- a. Tu verras le Soleil se lever à l'Est.
- b. Tu verras le Soleil se lever au Sud-Est.

- c. Tu verras le Soleil se lever au Nord-Est.
- d. Autre réponse

2.2. Avec une boussole, graduée de la forme suivante : Nord 0°, Est 90°, Sud 180°, Ouest 270°, tu observes le lever du Soleil. Si au moment du lever, tu repères 110°, que repèreras-tu au coucher ? Explique ta réponse.

- a. 200°. Explication.
- b. 250°. Explication.
- c. 290°. Explication.
- d. Autre réponse.

### 3 - La hauteur du Soleil.

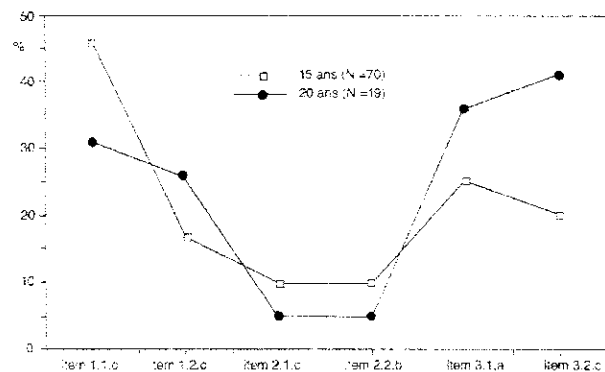
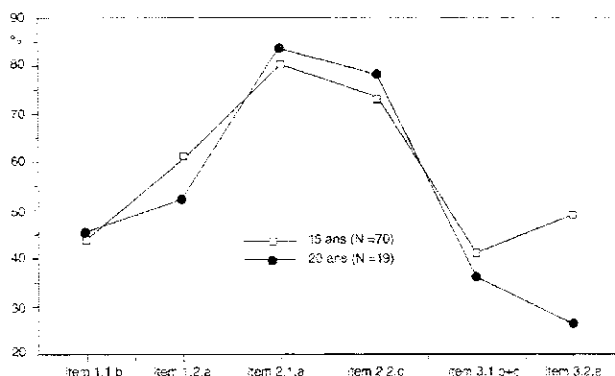
3.1. Combien de jours par an crois-tu que le Soleil, à midi, soit juste au-dessus de nos têtes ?

- a. Aucun.
- b. Un (Lequel ? Approximativement).
- c. Deux (Lesquels ? Approximativement).
- d. Autre réponse.

3.2. Un ami te dit : " je préfère l'été au printemps, il fait plus chaud car le Soleil est plus haut " . Qu'en penses-tu ?

- a. En été le Soleil est plus haut qu'au printemps.
- b. Au printemps le Soleil est plus haut qu'en été.
- c. Le Soleil est aussi haut en été qu'au printemps.
- d. Autre réponse

résultats de l'expérience en seconde et classe prépa.



## Analyse des réponses

### 1 - La durée du jour.

La question 1.1 demande s'il existe un jour dans l'année qui ait 12 heures de Soleil.

L'intention est de vérifier si les élèves connaissent l'existence des deux journées spéciales, nommées "équinoxes", dont les durées du jour et de la nuit sont de 12 heures. Ces deux journées permettent d'organiser l'année en deux périodes : printemps-été, dont les jours durent plus de 12 heures et automne-hiver, dont les jours durent moins de 12 heures...

L'analyse des réponses montre que moins de 10% des élèves sont capables d'identifier les équinoxes. On constate également que les élèves ne montrent pas de préférence définie pour une réponse alternative, et que si certains pensent qu'aucun jour ne dure 12 heures, d'autres pensent qu'il n'y en a qu'un seul (en général un jour d'été).

La question 1.2 tente de savoir ce que pensent les élèves sur la durée du jour au printemps et en été. Nous avons vu que le premier jour du printemps (équinoxe) dure 12 heures, puisque les jours s'allongent jusqu'au premier jour d'été (solstice) où la durée du jour est maximale. La durée du jour commence alors à diminuer jusqu'au premier jour de l'automne où il dure de nouveau 12 heures. Nous pouvons donc dire que les changements intervenus au printemps ont lieu, en été, en sens inverse.

Dans ce cas, les réponses des élèves montrent une préférence évidente (dans certains groupes jusqu'à 90%) pour celle qui indique qu'en été les jours sont plus longs qu'au printemps. Les idées intuitives semblent prévaloir sur la réflexion. Nous avons effectivement l'impression qu'en été les jours sont plus longs. Néanmoins, si nous savons que le premier jour de l'été est le jour le plus long, nous savons également qu'ensuite, la durée du jour décroîtra.

## 2 - La position du lever / coucher du Soleil.

La question 2.1 essaie d'établir quelles connaissances ont les élèves sur les changements de position du lever/coucher du Soleil. Dans ce cas, nous voulons vérifier si les élèves sont capables de mettre en relation la durée du jour et la position du lever / coucher du Soleil.

Comme nous l'avons vu, à l'arrivée du printemps les jours commencent à allonger ; donc un mois plus tard, le trajet du Soleil sur l'horizon doit être le plus grand. Le Soleil se lèvera vers le Nord-Est et se couchera vers le Nord-Ouest. Les résultats montrent qu'une très grande proportion d'élèves (dans certains cas près de 50%) pense que le Soleil se lève toujours à l'Est. Les élèves reproduisent là ce qu'ils ont appris par cœur à l'école et qu'ils n'ont pas eu l'occasion de vérifier. D'autre part, les autres 50% ne montrent aucune préférence nette pour le Nord-Est ou le Sud-Est.

Le but de la question 2.2 est d'établir quelles sont les idées des élèves sur la relation entre les positions du lever et du coucher du Soleil. Comme nous l'avons déjà signalé, la trajectoire du Soleil est symétrique par rapport au Sud : ces deux points sont à  $70^\circ$  du Sud ( $180^\circ$ ), de part et d'autre. Si la position de lever correspond à  $110^\circ$ , le coucher devra être à  $250^\circ$ . Les réponses des élèves nous permettent d'affirmer que cette idée de symétrie ne fait pas partie de leur façon de raisonner. La majorité (dans ce cas 60%) raisonne de la façon suivante : puisque le Soleil décrit un arc de cercle de  $180^\circ$ , sa position du coucher sera  $290^\circ$ .

## 3 - La hauteur du Soleil.

Dans la question 3.1, on demande s'il y a un jour où, à midi, le Soleil est juste au-dessus de notre tête. On sait que ceci est vrai uniquement sous des latitudes intertropicales, alors que sous nos latitudes, le Soleil n'atteint ja-

mais le zénith, sa hauteur maximale étant, en Europe, d'environ  $70^\circ$ . Très peu d'élèves affirment ne jamais avoir le Soleil au-dessus de leurs têtes. Au contraire, une grande partie d'entre eux (quelquefois 60%) pense que cela arrive tous les jours. Peut-être faut-il supposer que, très souvent, les élèves n'ont pas compris l'expression "directement au-dessus de notre tête"...

Pour terminer, la question 3.2 fait de nouveau référence à la comparaison entre le printemps et l'été, mais dans ce cas, on compare la hauteur du Soleil à midi. Comme nous l'avons déjà dit, si nous savons que le solstice est un point de symétrie, au printemps la hauteur du Soleil augmentera tous les jours, alors qu'en été sa hauteur diminuera. Donc, à chaque jour du printemps correspond un jour de l'été où la hauteur du Soleil est la même. Alors que, s'agissant de la durée du jour, les élèves affirment qu'en été les jours sont plus longs qu'au printemps, pour la hauteur du Soleil, les réponses ne montrent plus aucune préférence nette. Enfin, dans "autre réponse", quelques élèves précisent "qu'en été le Soleil est plus près de la Terre" : Faut-il en déduire que pour eux c'est une évidence observable... ou que c'est la conséquence d'un raisonnement erroné ?

En résumé, les réponses au questionnaire montrent clairement que les élèves ont une perception inexacte des observations astronomiques les plus élémentaires. Pour nous, c'est un fait grave : en l'absence d'un savoir organisé (en fonction de l'existence de symétries), basé sur les observations de base, la formulation de modèles théoriques du système Soleil-Terre prenant en compte ces observations devient impossible. Notons d'autre part qu'il est plus aisé de formuler des modèles théoriques simplifiés, basés sur des mouvements circulaires, si l'on a en mémoire le rôle de la symétrie.

Les réponses s'expliquent néanmoins par l'approche généralement "aprobématique" du thème des saisons.

Dans la majorité des cas, on est entré dans la présentation des modèles sans tenir compte de l'évidence empirique que ces modèles sous-entendaient. Ainsi, à travers les réponses au questionnaire et les entrevues réalisées, il est clair que le pourcentage d'élèves se référant à de réelles observations (heures et lieux de lever du Soleil, hauteur) est très faible. Plus faible encore est celui de ceux qui savent représenter correctement la trajectoire du Soleil sur l'horizon. Il ressort enfin qu'un pourcentage élevé d'élèves représente comme une évidence observationnelle le système Soleil-Terre vu de l'espace et considère la distance Soleil-Terre ou la taille du Soleil comme des observations élémentaires.

Ces résultats confirment qu'il convient de revoir sérieusement l'orientation didactique de l'étude des phénomènes astronomiques les plus élémentaires, et posent la délicate question du contenu des programmes scientifiques. ■



# Et pourtant elle tourne....

## Le système solaire de Ptolémée à nos jours

Eliane Tardy

Ce projet a occupé, pendant l'année scolaire 1997-1998, une classe de 5<sup>ème</sup> du collège Jean Moulin de Barbezieux (Charente), leurs professeurs de technologie, histoire, français et leur documentaliste, aidés par un intervenant extérieur du CDDP de notre département. Il fut réalisé dans le cadre d'un atelier scientifique et technique grâce auquel, deux heures par semaine, hors emploi du temps élèves et professeurs, ont pu être consacrées aux travaux "astros".

**C**es travaux ont suivi deux directions principales dont les contenus ont été en constante interaction.

- En atelier : construction de planchettes équatoriales (dites top-top), de cartes du ciel, de constellations en 3 D, d'un géorama (instrument conçu par Pierre Bourge, permettant d'expliquer les mouvements de la Terre autour du Soleil, les saisons, les phases de la Lune, les éclipses...) d'un système solaire à l'échelle en boules de polystyrène peintes. Toutes ces constructions étaient préalablement préparées par des cours théoriques dont la mise en application a permis une meilleure compréhension et une assimilation plus sûre.

- En travail de recherche au CDI, élaboration de quatre livrets sur les thèmes suivants : les constellations du zodiaque, les constellations, le système solaire, les grands astronomes. Pour ce faire, les élèves ont consulté des documents, fait un résumé, laissé une trace écrite sur ordinateur, confectionné et illustré des livrets. Ainsi, 12 points précis et différents constituent chaque livret.

Les élèves et leurs professeurs sont partis en classe de découverte, début novembre, dans un centre de vacances du

Rouergue. Ce stage était encadré par un animateur de la "Ferme des étoiles" de Fleurance.

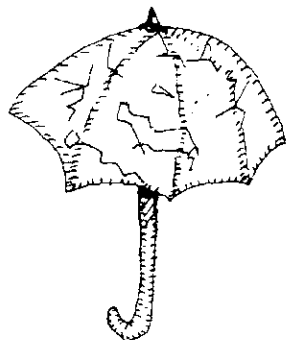
Une visite de l'observatoire de Bordeaux et d'un observatoire amateur de la région (Association Espace Découverte de Cestas) ont permis de mieux connaître les instruments anciens et modernes.

Enfin, la classe a été sollicitée pour participer aux journées "Exposcience : les jeunes exposent" à Niort, où quatre élèves ont présenté les travaux pour lesquels ils ont obtenu le 4<sup>ème</sup> prix.

Une année mouvementée donc, pour cette classe de 5<sup>ème</sup> : chaque élève a participé, s'est intéressé, voire s'est passionné. Les heures supplémentaires étaient faites sans rechigner ... et un groupe d'une douzaine d'élèves est prêt à continuer cette expérience.

En effet, un autre projet est lancé pour l'année prochaine, sur le thème "le Soleil, une jeune étoile de cinq milliards d'années" : constructions, observations, recherches, montage théâtral ... Les idées ne manquent pas.

Et rendez-vous le 11 août 1999, quelque part dans le nord de la France, avec tous les passionnés "astro". ■



# Style vertical ou style incliné ? Une maquette pour constater

Laurence Portier

L'étude de la trajectoire apparente du Soleil par l'intermédiaire des ombres d'un bâton est un classique dans l'enseignement de l'astronomie à l'école primaire. Cette étude est souvent prolongée par un travail sur les cadrans solaires. Pourtant, le problème n'est pas simple et, lorsque l'on demande à de futurs professeurs des écoles la raison de l'inclinaison du style des cadrans solaires, les réponses sont rares.

Aussi, il nous est apparu important de clarifier ce domaine de connaissances dans le cadre de la formation initiale des professeurs des écoles. Même si rien ne remplace l'observation directe, les contraintes de temps sont incontournables et la mise en place d'observations sur la journée, sur l'année, sont difficilement réalisables dans ce cadre. Nous avons donc conçu une maquette permettant de reproduire le mouvement apparent du Soleil aux solstices et équinoxes à la latitude de Cergy, environ  $49^\circ$  de latitude Nord.

## 1 - Description

Cette maquette est composée de :

- un disque de bois, sur lequel sont repérés les points cardinaux, représentant l'horizon local en un lieu. Au centre de ce disque est placée une fine tige métallique dépassant de 1 cm qui peut être soit verticale, simulant ainsi un gnomon, soit inclinée en direction de la polaire, faisant alors office de style de cadran solaire ;
- trois anneaux en fer qui représentent la trajectoire du Soleil, vue depuis un lieu à la latitude de Cergy, aux solstices et équinoxes. Ces anneaux sont gradués, chaque anneau ayant 24 graduations régulièrement espacées, correspondant aux heures ;
- un pied adapté ;
- une lampe de poche sans couvercle qui permet de simuler le Soleil dans la position qu'il a à une heure donnée, soit aux solstices, soit aux équinoxes .

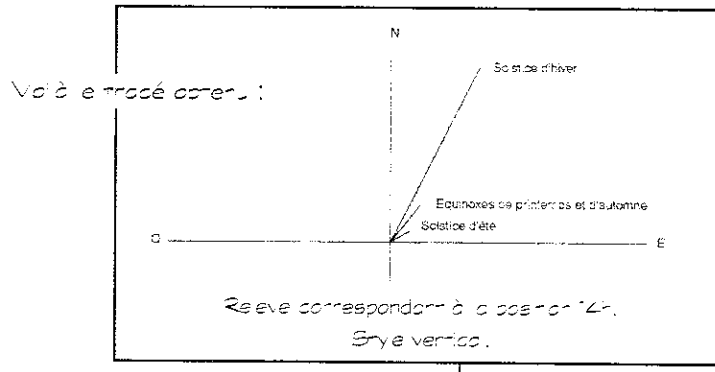
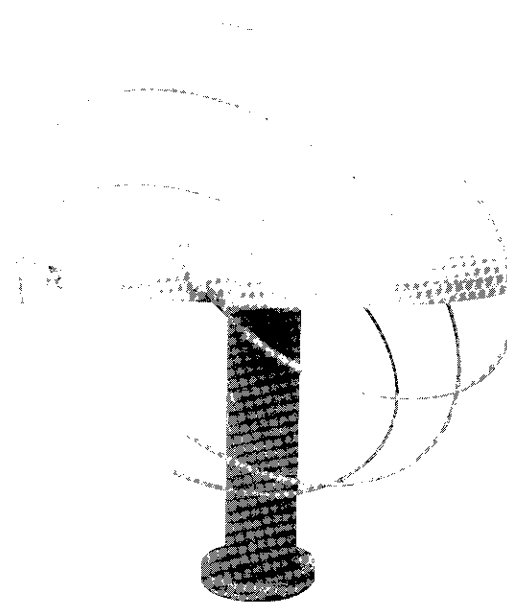
Cette maquette a été conçue de façon à être la plus fidèle possible à la réalité. Ainsi, la hauteur du Soleil sur l'horizon pour chacune des dates est respectée ainsi que l'azimut de lever et de coucher du Soleil.

## 2 - Utilisation

L'enjeu de cette maquette est de montrer la variation de direction de l'ombre d'un bâton vertical à une même heure (solaire) de la journée au cours de l'année, donc de comprendre la nécessité d'une certaine orientation du style pour réaliser un cadran solaire.

**2.1 - Dans un premier temps, constatons ce qui se passe lorsque le style est vertical**

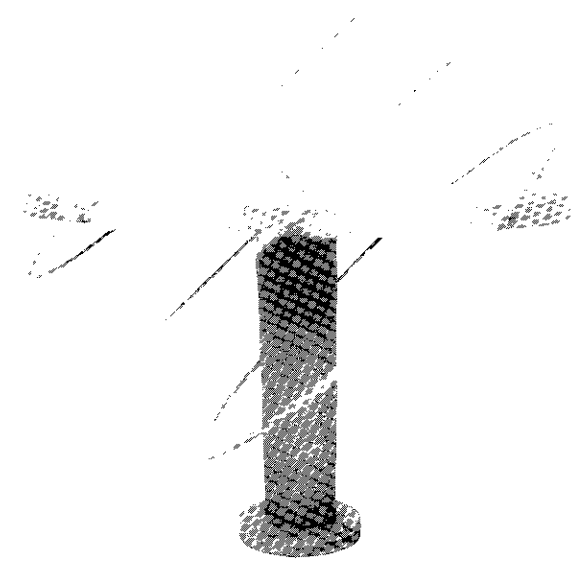
Pour ce faire, il suffit de placer la lampe-Soleil à une certaine heure de la journée, par exemple deux heures après midi, sur l'anneau correspondant au solstice d'hiver, de repérer la direction de l'ombre du gnomon, de procéder de la même façon avec les anneaux correspondant aux équinoxes et au solstice d'été.



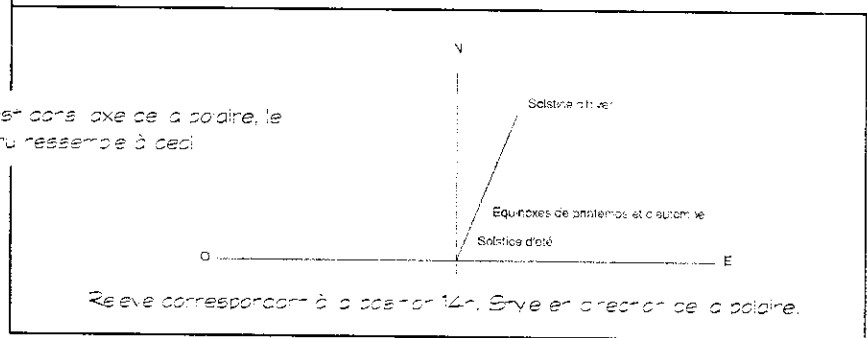
La précision de ce système est suffisante pour mettre en évidence et faire le constat des différences de direction des ombres en fonction de la période de l'année, et donc de réaliser une des contraintes à prendre en compte lorsque l'on veut faire un cadran solaire.

**2.2 - La question qui se pose alors est : " Comment réaliser un instrument utilisable toute l'année pour donner l'heure ? "**

Il y a toujours dans un groupe des personnes pour qui le cadran solaire est un objet familier, et qui proposent alors d'incliner le style " vers le Nord ". Comment précisément incliner ce style ? Les réponses sont alors variées, c'est donc un point intéressant à discuter. Des essais, avec un style orienté selon les différentes propositions, peuvent être réalisés en suivant la même démarche que précédemment.



En inclinant le style vers l'axe de la polaire, le relevé obtenu ressemble à ceci :



A une heure donnée, la direction de l'ombre du style est conservée quelle que soit la période de l'année.



## 2.3 - Conclusion

Bien que n'étant pas explicative –l'explication est là du domaine de la géométrie sphérique–, cette maquette permet de clarifier une des difficultés souvent rencontrée lorsque l'on aborde les cadrans solaires.

## 2.4 - Compléments

La variation de la trajectoire apparente du Soleil au cours de l'année est au programme de l'école primaire. Connaissant les difficultés de lecture et de production de schémas représentant des situations spatiales, situations fréquentes en astronomie même au primaire, cette maquette peut servir d'intermédiaire entre le phénomène et sa représentation en deux dimensions. Elle permet en outre de visualiser les variations de direction des lever et coucher de Soleil au cours de l'année, ainsi que celles de hauteur du Soleil lorsqu'il culmine. Elle peut aussi contribuer à réaliser qu'en France le Soleil culmine au sud, d'autres maquettes permettant alors de comprendre pourquoi.

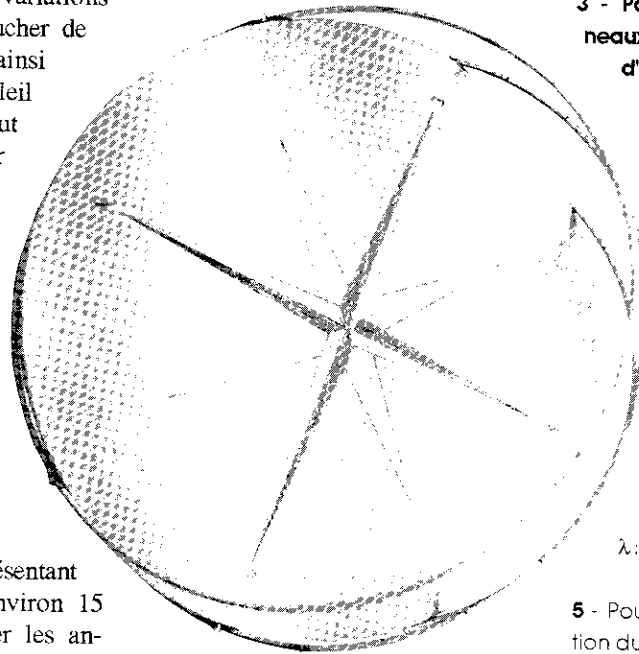
## 3 - Conseils de fabrication

L'épaisseur du disque représentant l'horizon local doit être d'environ 15 mm, ceci permettant de fixer les anneaux métalliques avec des crampillons.

Un diamètre de l'anneau de 25 cm est pratique dans la mesure où l'on peut trouver dans le commerce<sup>2</sup> des anneaux de ce diamètre.

Les deux anneaux correspondant aux solstices sont de diamètre inférieur à 25 cm, il faut donc couper des anneaux de 25 cm et les ressouder afin d'avoir le bon diamètre<sup>3</sup>. Attention, la soudure doit être solide (la soudure à l'étain n'est pas suffisante).

Pour positionner correctement les trois anneaux, il est utile de calculer l'azimut de lever et de coucher du Soleil<sup>4</sup> et la hauteur du Soleil<sup>5</sup> à midi pour chacune des situations. ■



## Notes

1 - Merci à Pierre Bouteloup pour la résolution des équations reforses.

2 - Opitec, 64 rue De France, 94 307 Vincennes cedex

3 - Pour calculer le diamètre des anneaux correspondant aux solstices :

$$d' = d \cdot \cos 23,5^\circ$$

avec :

$d'$  : diamètre des anneaux correspondant aux solstices

$d$  : diamètre des anneaux correspondant aux équinoxes

4 - Pour calculer l'azimut des lever et coucher de Soleil aux équinoxes :

$$\cos \psi = -\sin \mu / \cos \lambda$$

avec

$\psi$  : azimut du Soleil ( $\psi = 0$  quand le Soleil est au Sud)

$\mu$  : déclinaison du Soleil

$\lambda$  : latitude du lieu

5 - Pour calculer la hauteur de culmination du Soleil :

$$h = 90^\circ - |\lambda| + \mu$$

avec :

$h$  : hauteur du Soleil sur l'horizon

$\mu$  : déclinaison du Soleil

$\lambda$  : latitude du lieu



# Coucher d'Orion

Pierre Causeret

Je vous propose à partir de ce numéro une nouvelle rubrique de problèmes partant d'une photo ou d'un document astronomique.

Chaque document pourra être utilisée de différentes manières :

- en leur donnant tel quel aux élèves, sans question, et en leur demandant de chercher tous les renseignements que l'on peut en tirer
- en leur posant une question et sans leur donner de renseignement
- en leur donnant la question avec quelques aides.

Ces problèmes ne sont pas tous nouveaux et vous retrouverez sûrement des idées d'anciens articles des Cahiers Clairaut. Les solutions seront données dans le prochain numéro.



Coucher d'Orion (Photo Alain Jaquot - SAB)

## Première question :

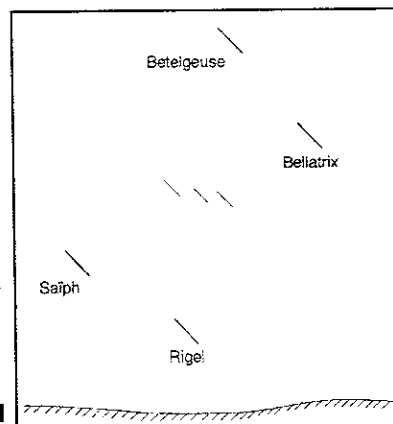
Depuis quel département français cette photo a-t-elle été prise ?

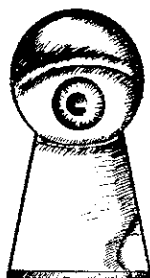
Aides :

1. La constellation d'Orion est traversée par l'Équateur céleste.
2. Le bas de la photo est horizontal.
3. Voici à droite une autre photo du coucher d'Orion prise depuis chez moi, en Côte d'Or. On peut s'amuser à chercher les différences avec la photo précédente.

## Deuxième question : Quelle est la durée de la pose photo ?

Aide : Betelgeuse et Saïph sont distantes d'environ  $17^\circ$





# 1999

a inspiré Maurice Carmagnole  
et quelques autres arithmophiles  
(Michel Bobin, Harvey Dubner, Philippe  
Dumas, François Morain)

## CURIOSITÉS

→ 1999 est un naturel premier (c'est le 303<sup>e</sup> ; mais le 1999<sup>e</sup> est 17397). Notons que la 62<sup>e</sup> paire de premiers jumeaux est {1997, 1997} mais qu'on ignore toujours s'il en existe une infinité.

On sait, depuis Lagrange que tout naturel non nul est une somme d'au plus quatre carrés de naturels non nuls. Pour 1999 il en faut quatre (car 1999 est de la forme  $8n + 7$ ). Il y aurait mille décompositions.

Citons  $1999 = 43^2 + 11^2 + 5^2 + 2^2 = 35^2 + 23^2 + 14^2 + 7^2 = 39^2 + 19^2 + 9^2 + 6^2$ .

→  $1999 = \underline{197} + \underline{199} + 211 + 223 + \underline{227} + \underline{229} + 233 + \underline{239} + \underline{241}$   
(9 nombres premiers consécutifs, jumeaux soulignés).

→ Tout naturel est somme de trois triangulaires  $T_a, T_b, T_c$ . ( $T_n = \sum_{k=1}^n k = \frac{n(n+1)}{2}$ )

$1999 = T_{62} + T_9 + T_1$  (qu' on abrège par -- 62, 9, 1--). Les 22 autres sont : -- 62, 8, 4 --  
61, 14, 2 -- 60, 13, 12 -- 58, 20, 12 -- 57, 25, 6 -- 57, 20, 16 -- 56, 25, 12 -- 54, 27, 16  
-- 53, 27, 19 -- 51, 34, 12 -- 50, 37, 6 -- 48, 40, 2 -- 47, 41, 4 -- 47, 39, 13 --  
47, 34, 23 -- 47, 30, 28 -- 46, 42, 5 -- 44, 41, 14 -- 44, 35, 27 -- 42, 40, 13 --  
41, 37, 29 -- 37, 36, 35 -- (indices consécutifs !).

→  $1999 = \sqrt{1 + 1998\sqrt{1 + 1999 \cdot 2001}} = (26 + 21i\sqrt{3})(26 - 21i\sqrt{3})$   
 $= (47 + 42j)(47 - 42j^2)$  (où  $j = e^{2i\pi/3}$ ).

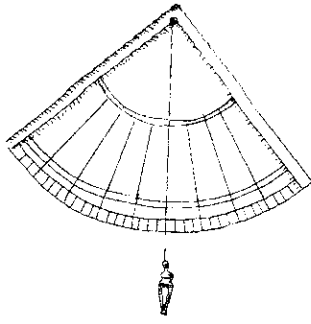
→ Le "rep-unit-(base dix)"  $R_n$  est le naturel qui s'écrit rien qu'avec n chiffres 1.  
( $R_n = (10^n - 1) : 9$ ).

On n'en connaît que cinq actuellement qui soient premiers :  $R_2 ; R_{19} ; R_{23} ; R_{317} ; R_{1031}$ . Mais  $R_{1999}$  ne l'est pas, puisqu'il se factorise en :

$32.366.008.861.997.013 \cdot c_{1984}$  (où  $c_{1984}$  est un naturel lui-même composé possédant 1984 chiffres).

→  $M_{1999} = 2^{1999} - 1$ . Ce nombre de Mersenne est-il premier ? (intéressant car 1999 l'est). Réponse simple, (par le test de Lucas-Lehmer car  $1999 = 4n + 3$ ) et négative ! Plus difficile est le problème de sa factorisation. Un lecteur fournira-t-il la factorisation du quotient  $q$  de  $M_{1999}$  par son facteur premier 1 807 097 ? ( $q$  possède 596 chiffres...).

→ les chiffres de rang 11 262, ..., 11 265 après la virgule dans le développement décimal de  $\pi$  sont : 1999 (hé oui ...). ■



# L'histoire de la vitesse de la lumière

Robert Garnier, observatoire de Lyon  
avec la complicité de Georges Paturel

Le deuxième épisode de cette histoire est entièrement consacré à Arago. Physicien, astronome et homme d'état républicain, Arago est le type même du savant du XIX<sup>es</sup>. Non seulement son oeuvre scientifique est considérable mais il s'attache à encourager les jeunes savants et à "rendre la philosophie populaire" en effectuant un admirable travail de vulgarisation.

Ses qualités d'expérimentateur apparaissent particulièrement dans cette histoire puisqu'il propose une expérience (qui sera réalisée par Foucault) consistant à comparer les vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau.

## 4 - Arago souhaite connaître la vitesse de la lumière avec précision.

### Le contexte.

Pendant plus d'un siècle, de 1728 à 1849, la vitesse de la lumière reste une curiosité scientifique en ce sens que la connaissance de sa valeur ne contribue en rien à l'explosion de résultats scientifiques qui caractérise cette époque. La science à la mode c'est l'Electricité et plus tard l'Electromagnétisme. Bien sûr, l'Optique n'est pas en reste mais le grand débat est alors celui qui oppose les partisans de la théorie corpusculaire aux tenants de la théorie ondulatoire et qui s'achèvera par le triomphe de ces derniers. C'est l'époque où les physiciens français qui tiennent le haut du pavé ont pour nom André-Marie Ampère, Pierre-Simon de Laplace, Augustin Fresnel, Jean-Baptiste Biot ou Louis-Joseph Gay-Lussac. La vitesse de la lumière fait bande à part et reste un peu comme un sous-produit des mesures astronomiques. Pour que les choses commencent à bouger, il faudra attendre 1843 année où Dominique-François-Jean Arago reçoit la charge de Directeur de l'Observatoire de Paris.

### L'homme, sa vie, son oeuvre.

Fascinante personnalité que celle de François Arago (1786-1853) reçu premier à l'Ecole Polytechnique à l'âge de dix-sept ans après des études d'autodidacte. Il n'a pas encore terminé sa seconde année d'étude qu'il est, sur recommandation de Laplace, détaché au Bureau des Longitudes. Sur ces entrefaites, Méchain étant décédé, Poisson délègue Biot et Arago en Espagne afin d'y poursuivre les triangulations relatives à la mesure de la longueur de l'arc du méridien terrestre. Ils effectuent les relevés dans la région de Valence puis, Biot ayant été rappelé en France, Arago les poursuit seul à partir de janvier 1808 dans les îles de Majorque et de Formentera. Là-dessus, la guerre éclate entre la France et l'Espagne. Accusé d'espionnage, il est enfermé dans une forteresse de Majorque d'où il parvient à s'évader et à gagner clandestinement Alger. Dans cette ville il trouve à s'embarquer pour Marseille, mais les corsaires espagnols veillent et le navire qui le transporte est arraisonné.

Cette fois Arago fait connaissance avec le dur régime des pontons. Le 28 novembre 1808, il est relâché sur ordre du gouvernement espagnol.

Nouvel embarquement pour Marseille, mais cette fois-ci c'est le mistral qui oblige Arago à faire un crochet involontaire par le port barbaresque de Bougie. Il est transféré à Alger au terme d'un voyage au cours duquel il a failli mourir. Enfin en juin 1809, il parvient à s'embarquer pour Marseille où il finit par aborder le 2 juillet non sans rapporter avec lui les précieuses mesures concernant les triangulations effectuées avant que ne commencent ses tribulations.

Deux mois plus tard, le 18 septembre 1809, en dépit de son jeune âge (il est âgé de 23 ans) Arago est élu membre de l'Académie des Sciences, non comme récompense de ses mésaventures hispano-africaines, mais comme une juste reconnaissance des signalés services qu'il a déjà rendus à la Science. Il s'est, dès cette époque, distingué aussi bien par ses travaux de physicien que par ses talents d'astronome (libration de la Lune, calcul des orbites cométaires, tables de réfraction, triangulations prolongeant jusqu'à l'île de Formentera la mesure de l'arc de méridien).

Pour couronner le tout, à la fin de cette année 1809, Arago est nommé astronome à l'Observatoire de Paris, nomination assortie de la rarissime autorisation d'y résider. En 1830 il devient secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences et se consacre alors à une analyse méticuleuse des travaux présentés à l'Académie ainsi qu'à la rédaction de notices biographiques publiées dans «l'Annuaire du Bureau des Longitudes». Ces notices apportent une contribution essentielle à l'histoire des sciences et des grandes découvertes ayant la particularité de faire le point de tout ce qui a été fait sur la question jusqu'au savant dont il présente les travaux. C'est en 1843 qu'il accède à la direction de l'Observatoire de Paris dont il modernise les moyens d'observation tout en continuant un enseignement popularisant l'astronomie auprès du «grand public» ce qui fait de lui, selon le mot de l'Amiral Mouchez, «le plus grand vulgarisateur de son siècle». Élu député des Pyrénées Orientales lors de l'avènement de la Seconde République, il siège à l'extrême gauche avant de devenir ministre de la Marine

et de la Guerre. Après avoir été l'instigateur de l'abolition de l'esclavage dans les colonies françaises, il refuse de prêter serment au gouvernement issu du coup d'état du 2 décembre 1852. Napoléon III, l'ayant dispensé de cette prestation, Arago conserve sa charge de Directeur de l'Observatoire jusqu'à sa mort qui survient l'année suivante.

### Arago et la vitesse de la lumière.

En 1806, alors qu'il vient juste de sortir de l'École Polytechnique, Arago, à la suggestion de Laplace, est amené à s'intéresser à la vitesse de la lumière. Le problème qui lui est soumis ne concerne pas la grandeur de cette vitesse mais sa constance dans un milieu donné. En d'autres termes, la lumière émise par un objet terrestre, par le Soleil ou par un astre quelconque se propage-t-elle à la même vitesse ? En ce qui concerne les étoiles, le fait que le grand axe de l'ellipse d'aberration ait une grandeur angulaire indépendante de l'étoile observée apporte indiscutablement de l'eau au moulin des tenants de la constance de cette vitesse.

La solution du problème soumis à la sagacité d'Arago présente en réalité un intérêt primordial en cette aube du dix-neuvième siècle où, concernant la nature de la lumière, la communauté scientifique est plus que jamais partagée entre les «newtoniens» qui, comme Laplace, Biot ou Brewster se font les défenseurs acharnés de la théorie de l'émission et ceux qui à l'instar de Young ou de Fresnel préfèrent le modèle ondulatoire hérité de Huygens. Ce dilemme se voit réactualisé en 1807 lorsqu'il s'agit d'expliquer le phénomène de la biréfringence des cristaux de spath d'Islande découvert en 1669 par Erasmus Bartholin (1625-1698). Pour les «newtoniens» il s'agit là d'une anomalie inexplicable, déconcertante mais bien réelle, de la nature. Lorsqu'à l'instigation de Laplace lui-même, Etienne Malus (1775-1812) aborde le problème à son tour, il commence par découvrir la polarisation de la lumière (1808), phénomène qui semble porter le coup de grâce au modèle ondulatoire à une époque où l'on imagine pas que les ondes lumineuses, si elles existent, puissent ne pas être longitudinales (analogie avec les ondes sonores). Si

les ondes lumineuses sont longitudinales, comment expliquer en effet que «les rayons lumineux puissent avoir des côtés» ? L'idée que les ondes lumineuses puissent être transverses ne semble pas avoir retenu l'attention des physiciens d'alors.

Si les «newtoniens» ont raison, les rayons lumineux sont constitués d'un flot de particules, chacune d'elles ayant une masse faible certes, mais non nulle et de tels corpuscules sont nécessairement soumis aux lois de la mécanique. C'est ainsi que ceux émis par les étoiles plus massives que le Soleil doivent se déplacer plus lentement que ceux provenant de ce dernier. D'autre part, la vitesse des particules lumineuses doit varier suivant que l'étoile s'approche où s'éloigne de la Terre. Mais, si la vitesse de la lumière émise par les étoiles diffère de l'une à l'autre, comment expliquer qu'aux erreurs de mesure près, l'aberration soit identique pour toutes ? Ce qui est certain, c'est qu'en cette première décennie du dix-neuvième siècle la communauté scientifique est convaincue qu'il y a là un problème et qu'on se trouve à une croisée de chemins.

### Constance de la vitesse de la lumière dans un milieu homogène.

C'est alors que Laplace qui vient de découvrir les talents du jeune Arago qui achève Polytechnique, propose à ce dernier d'aborder le problème de la constance de la vitesse de la lumière dans un milieu homogène (1806). En d'autres termes : Est-il possible de comparer directement la vitesse de la lumière émise par les étoiles, le Soleil ou les objets terrestres ? On sait alors que l'indice de réfraction d'un prisme de verre est fonction du rapport de la vitesse de la lumière dans l'air et dans le verre, les deux théories en présence ne s'opposant sur ce point particulier que sur la valeur de ce rapport. Si donc la vitesse de la lumière émise par des corps célestes ou terrestres diffère de l'un à l'autre, les images de ces objets observées à travers un même prisme sont nécessairement déviées différemment. Arago utilise un télescope muni d'un prisme amovible et montre que toutes les images observées sont identiquement décalées.

Il en conclut qu'à deux dix-millièmes près la vitesse de la lumière est constante. C'est cette démonstration de la constance de la vitesse de la lumière qui vaut à Arago son élection à l'Académie des Sciences le 18 septembre 1809, à l'âge de 23 ans. quarante-sept suffrages sur cinquante-deux s'étant portés sur son nom, nom qui pendant près d'un demi-siècle va se trouver lié à l'aventure de la physique de la lumière.

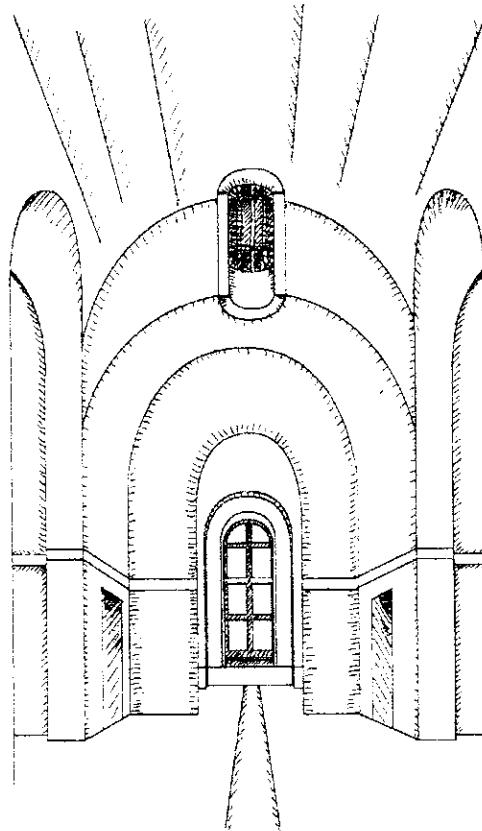
### L'éther.

S'il y a quelqu'un que le résultat expérimental d'Arago est bien propre à réjouir, c'est Thomas Young (1773-1829) qui depuis ses premières expériences sur les interférences lumineuses apparaît comme un inconditionnel de la théorie ondulatoire. N'a-t-il pas écrit en 1800 que l'uniformité du mouvement de la lumière dans un milieu homogène, difficile à interpréter dans le modèle émissif, s'intègre au contraire tout à fait dans la théorie ondulatoire puisqu'il est à cette époque bien connu que dans un milieu élastique toutes les vibrations sont transmises à la même vitesse. Cette théorie connaît un essor considérable au cours des deux décennies suivantes sous l'impulsion d'Augustin Fresnel (1788-1827). Dès lors tous les phénomènes lumineux connus reçoivent une explication claire et logique à un détail près. Les ondes lumineuses se propagent à travers le vide intersidéral où, par définition, ne se trouve aucune matière. Comment donc imaginer que ce vide puisse être rempli de «quelque» chose qui soit suffisamment rigide pour rendre compte de la grande valeur de la vitesse de la lumière, parfaitement élastique pour expliquer que la lumière puisse se propager sur des distances considérables et cependant assez ténu pour être vide ? Fresnel s'en tire en postulant l'existence d'un tel milieu aux propriétés pourtant si contradictoires : l'éther est né et pendant près d'un siècle, il n'a pas fini de faire parler de lui.

### L'idée d'Arago.

L'année 1838 marque un tournant important dans l'évolution du problème posé par la détermination de la vitesse de la lumière. A cette époque le modèle ondulatoire de Fresnel paraît

tellement plus efficace que la théorie de l'émission qu'il est en passe de s'imposer définitivement. Il n'y a plus guère que quelques irréductibles, au nombre desquels Biot, Poisson et Brewster, pour croire contre vents et marées que la lumière est de nature corpusculaire. Il est cependant exact que les deux modèles en compétition expliquent la quasi totalité des phénomènes observés mais la théorie de Fresnel a pour elle l'incontestable avantage - et c'est fondamental



dans le domaine scientifique - de l'élégance, le seul point épineux subsistant étant celui de la nature de l'éther. Il est important de remarquer que jusque-là on n'a jamais imaginé de protocole expérimental qui permette de trancher sans appel entre les deux modèles.

Et c'est là qu'intervient Arago. Son idée est de comparer expérimentalement les vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau. Si la lumière se propage plus vite dans l'eau que dans l'air, c'est le modèle newtonien qui est correct. Si c'est l'inverse qui est observé, alors c'est Fresnel qui a raison et il n'y a plus de discussion possible. L'idée d'Arago, pour simple qu'elle nous apparaisse aujourd'hui, présente un côté révolutionnaire. En effet jusqu'ici, la mesure de la vitesse de la lumière était

une affaire d'astronomes. Mais pour faire la comparaison suggérée par Arago, il devient nécessaire d'être en mesure de la déterminer au laboratoire. Elle devient désormais affaire de physiciens et du même coup perd son caractère de curiosité scientifique.

### Le principe.

Dans son principe l'expérience imaginée par Arago est très simple. Un signal lumineux est divisé en deux : une partie traverse un tube rempli d'eau tandis que l'autre partie parcourt une distance identique dans l'air. Si l'on est en mesure de déterminer lequel des deux signaux est le plus rapide, le problème est résolu. La difficulté est évidente : comment déterminer avec une précision suffisante des temps de parcours aussi courts ?

Il semble que ce soit le physicien anglais Thomas Young qui le premier s'intéresse à la mesure des temps très courts, de l'ordre du millième de seconde. Il construit un «chronomètre» dans lequel un tambour d'axe vertical, mû par la chute d'un poids tourne en descendant. La surface du tambour est recouverte d'un papier sur lequel un stylet fixe trace une hélice circulaire droite. Pour déterminer la durée d'un phénomène rapide, il suffit de coupler le dispositif qui le produit au stylet et de traduire en temps le graphe enregistré. Les performances de l'appareil réalisé par Young ne

permettent pas de mesurer des temps suffisamment courts pour qu'il soit utilisable dans une expérience telle que celle imaginée par Arago. Cependant l'idée de Young est extrêmement intéressante en ce sens qu'elle établit la possibilité de mesurer la durée d'un phénomène très bref à condition de coupler un mouvement très rapide lié à ce phénomène avec un autre, plus lent mais dont la vitesse est connue. C'est en somme l'apparition de ce qu'aujourd'hui nous appelons la technique du balayage qui a reçu une application bien connue dans l'oscillographe cathodique. A partir de 1831, le physicien français Arthur Morin (1795-1880) imagine un certain nombre de machines destinées à l'étude des mouvements très rapides comme celui de la

rien français Arthur Morin (1795-1880) imagine un certain nombre de machines destinées à l'étude des mouvements très rapides comme celui de la chute des corps. Il obtient une précision analogue à celle atteinte par Young, mais il convient de souligner que les travaux de Morin sont totalement indépendants de ceux de Young.

Les années 1840 voient, à l'instigation des artilleurs, se développer des dispositifs enregistreurs destinés à l'analyse des phénomènes rapides. On a déjà gagné un ordre de grandeur par rapport à Young et désormais on sait mesurer des durées n'excédant pas le dix-millième de seconde mais la performance est encore insuffisante pour qu'il soit possible de mettre en oeuvre la suggestion d'Arago. A ces innovations sont attachés des noms bien connus de physiciens ou d'ingénieurs au nombre desquels figurent en bonne place ceux de Wheatstone, de Pouillet et de Bréguet. En ce qui concerne notre histoire, c'est incontestablement au physicien anglais sir Charles Wheatstone (1802-1875) que revient la palme. Il ne semble pas qu'il se soit jamais intéressé à la vitesse de la lumière, ses goûts le portant plutôt vers l'étude des phénomènes électriques et de leurs applications industrielles. Ce qui intéresse Wheatstone, c'est de connaître la vitesse de l'électricité à une époque où la propagation des charges électriques dans le vide ou dans les conducteurs est encore bien mystérieuse. Son problème consiste à déterminer la vitesse du déplacement des charges lors de l'éclatement d'une étincelle électrique. Reprenant les idées de son compatriote Young, il combine le mouvement de l'étincelle avec un autre de direction et de vitesse connues et opte pour une rotation uniforme.

Dans une première tentative, Wheatstone s'inspire directement du dispositif de Young et c'est un échec. L'étincelle électrique se déplace beaucoup trop rapidement pour qu'il obtienne un résultat significatif. Il a alors l'éclair de génie ; il décide de faire tourner non plus le générateur d'étincelles, mais l'image de l'étincelle qu'il rend fixe grâce à la persistance rétinienne. A la rotation relativement lente d'un lourd dispositif expérimental se trouve substituée celle d'un petit miroir plan la-

quelle peut être infiniment plus rapide. En introduisant sa technique dite du «miroir tournant», Wheatstone fait effectuer à la mesure des intervalles de temps très courts un bond considérable, suffisant en tout cas pour rendre possible la matérialisation du rêve d'Arago. En effet, utilisant un miroir tournant, Wheatstone parvient à mesurer la vitesse de propagation d'une onde de tension dans un conducteur métallique et trouve une vitesse de 461 000 kilomètres par seconde. Évidemment nous savons aujourd'hui que ce résultat est erroné, mais l'expérience de Wheatstone a l'incontestable mérite de montrer que la mesure de la vitesse de la lumière au laboratoire n'est plus une chimère. Désormais la balle est de nouveau dans le camp d'Arago.

### Les difficultés.

Arago dispose maintenant de tous les ingrédients qui lui sont nécessaires pour entreprendre la réalisation de son expérience destinée à comparer les vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau. La technique du miroir tournant est au point, on sait faire tourner un miroir plan à grande vitesse et produire des impulsions lumineuses très brèves. Grâce au miroir tournant, les faisceaux transmis respectivement par la colonne d'eau et par l'air seront réfléchis dans deux directions différentes et donneront donc du signal lumineux deux images distinctes. De la position relative de ces images, il sera possible de savoir instantanément si la lumière se propage plus vite dans l'air ou dans l'eau.

Arago se propose de rendre l'expérience encore plus probante en mesurant l'écart angulaire des deux images au moyen d'une lunette. Et c'est là que commencent les difficultés. Pour améliorer la séparation angulaire des images, il a le choix entre deux solutions. La première consisterait à augmenter la vitesse de rotation du miroir, mais alors se pose un problème de roulements, leur usure rapide ne garantissant pas une rotation uniforme. La seconde serait d'augmenter la longueur de la colonne d'eau ce qui aurait pour effet d'accroître l'intervalle de temps séparant l'émergence des deux signaux. Cependant, en dépit de sa transparence, l'eau possède un certain coefficient d'absorption. Il est donc impensable de pouvoir allonger la colonne d'eau au-delà d'une

certaine limite sans trop affaiblir le signal émergeant et du même coup rendre l'image correspondante tout simplement inobservable.

Cette dernière difficulté, Arago pense la contourner en remplaçant l'eau par un liquide plus réfringent et donc dans lequel la lumière se propage soit plus lentement, soit plus rapidement que dans l'eau et il songe à utiliser le sulfure de carbone. Il pense d'autre part augmenter l'écart angulaire des images en faisant appel à un dispositif comportant non plus un seul miroir tournant mais un ensemble de trois miroirs. Mais là encore l'affaiblissement des images résultant de la multiplicité des réflexions se révèle inacceptable.

En 1850, il résumera toutes ses déconvenues devant ses collègues de l'Académie des Sciences en disant n'avoir trouvé aucun mécanisme susceptible d'entraîner une rotation suffisamment rapide du miroir. Bref, les années passent et l'expérience qui doit trancher entre les deux théories reste à l'état de projet.

Ce n'est peut-être pas que les idées fassent défaut à Arago. Dix années se sont en effet écoulées depuis ses premières cogitations ; on approche des années 1848, sa vue a considérablement baissé et ses activités d'homme politique et de vulgarisateur scientifique accaparent une part toujours plus importante de son temps. Il pense venu le moment de passer la main à plus jeune que lui. Les continuateurs sont là, à l'Observatoire de Paris et c'est lui, Arago, qui leur en a depuis quelques années déjà, ouvert les portes. Ils ont pour noms Hippolyte Fizeau et Léon Foucault.

Suite et fin dans le n°85

### Bibliographie

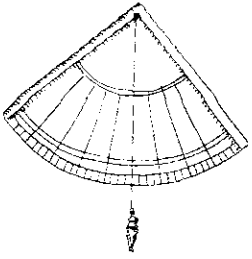
Les constructeurs d'instruments scientifiques en France au XIX<sup>e</sup> siècle, Jacques Payen, Archives internationales d'histoire des sciences, juin 1986, vol 36.

Histoire de ma jeunesse, par François Arago, Christian Bourgeois 1986.

Arago, par Maurice Daumas (1943). Réédition par Belin en 1987, à l'occasion du bicentenaire de la naissance d'Arago dans la collection "un savant, une époque". ■

# Mythes indiens

Francis Berthomieu



HISTOIRE

Francis nous propose une série de belles histoires sur des mythologies peu connues. La première, publiée dans ce numéro et consacrée à l'Inde, donne l'explication des phases de la Lune et nous raconte comment les dieux Rahu et Kéthou, incarnations des noeuds ascendant et descendant de la Lune, provoquent les éclipses

Se plonger dans les mythes fondateurs de l'Inde, c'est explorer un vaste labyrinthe...

Les dieux y sont nombreux : certains sont bons avec les humains, ce sont les Devas, mais ils ont des ennemis, les Asuras ! Vishnu est le protecteur du monde, Siva préside aux tempêtes, irascible vengeur de tout affront fait aux dieux mais également pasteur des âmes... Quant à Brahma, c'est le dieu créateur de l'univers et de tout ce qui le peuple : Daksha, le futur maître des créatures terrestres n'a pas manqué de naître... de son gros orteil. Quant à Indra, c'est le monarque tout puissant, le Roi des dieux... Voilà donc nos personnages ! On peut frapper les trois coups...

Tout là haut, dans le ciel, là où Daksha l'a placé pour qu'il l'assiste dans la si délicate gestion du Monde, le Seigneur Lune veille. Daksha est plus spécialement chargé de veiller sur les Jours tandis que Lune règne sur la Nuit...

Tâche trop monotone hélas : pas la moindre voix, pas la moindre lueur, une accablante solitude, une terrible obscurité... « Je reconnais mon bonheur, dit-il un jour à Daksha, je sais que les humains m'aiment, qu'ils craignent l'écrasante chaleur du Soleil et préfèrent ma douce

lumière. Je sais que ma lueur les invite à la danse, à la musique et à l'amour... mais je suis seul et je m'ennuie... »

Daksha, compréhensif et bon, propose donc un marché : « Je vais t'offrir quelques unes de mes filles pour égayer tes longues veilles ». C'est ainsi que le ciel se trouva peuplé par vingt-huit nouvelles venues, toutes plus belles et chatoyantes les unes que les autres. Le Seigneur Lune fut émerveillé lorsqu'il les vit se prendre par la main pour danser une gigantesque ronde tout autour de la voûte céleste. Mais ce qui devait arriver arriva : l'une d'elles conquit son coeur ; celle dont l'épaule scintillait de tous les feux de l'étoile rougeâtre que nous nommons Aldébaran.

- « Qui es-tu ? » demanda-t-il fasciné.

- « Rohini, la rouge », répondit-elle sobrement, avec un discret petit rire qui le fit fondre de désir.

- « Tu es très belle, Rohini, souple et élancée comme un roseau, ton parfum est celui du bois de santal... » et il resta sans voix. Mais dès ce jour, il ne la quitta plus, délaissant les vingt-sept autres filles de Daksha qui ne tardèrent pas à s'en plaindre à leur père.

- « Je ne t'ai pas donné mes filles pour que tu les méprises. Partage tes faveurs entre toutes également. Si tu n'obéis pas, malheur à toi ! »



On dit souvent que l'amour rend aveugle. Il rendit sans doute Lune sourd, qui ne prit pas la peine d'obtempérer aux ordres de Daksha. Et le châtement fut terrible : Lune tomba aussitôt malade et se mit à s'affaiblir de jour en jour. Et sur la Terre une période de désolation commença : on vit les plantes se dessécher, les fleurs perdre leur parfum, les animaux dépérir et quelques hommes succomber...

Les Devas, inquiets coururent chez Daksha, pour le supplier de rendre sa santé au Seigneur Lune pour sauver les créatures terrestres...

Ils surent convaincre Daksha qui consentit à atténuer le châtement, sans pour autant revenir sur sa décision de punir le Seigneur de la Nuit.

« D'accord, annonça-t-il. Sa maladie ne le fera souffrir que quinze jours. Quand il approchera de sa fin, il devra se plonger dans le fleuve Sarasvati, pour y retrouver ses forces. Pendant les quinze jours suivants, il recouvrira sa santé ».

Le Seigneur Lune n'était déjà qu'un fil d'argent dans le firmament, prêt à s'éteindre... La nuit suivante, personne ne le vit : il prenait son bain dans le Sarasvati. Le surlendemain, il fit une timide apparition, puis de jour en jour se montra plus vigoureux, pour retrouver au bout de quinze jours toute sa vigueur d'antan. Certes, sa maladie revient périodiquement pour lui rappeler les exigences de Daksha. Aussi ne manque-t-il plus jamais de passer une nuit entière avec chacune des vingt-huit soeurs. Il ne peut rendre visite à Rohini qu'une fois par mois, et cette attente est bien souvent trop longue.

Alors, soyez attentifs, toutes les nuits, à la place qu'occupe Lune dans le ciel. Le Seigneur de la Nuit a chaque soir une nouvelle étoile pour compagnie, tantôt celle-ci, Régulus, à l'extrémité de la patte avant du Lion, ou celle-là, qui forme l'Epi, dans la main de la Vierge. Plus tard, ce sera Antarès, l'étoile rouge du Scorpion... ou la tendre Aldébaran, sur la douce épaule de Rohini.

Regardez attentivement le ciel : Certains soirs sont favorables. Vous pourrez parfois observer un bien curieux spectacle. Lune est tantôt un

tout nouveau petit croissant, filet d'or dans le firmament, tantôt une boule rubiconde. Mais sa face est illuminée de joie quand Rohini est dans ses bras. Alors, Aldébaran se cache derrière les deux amoureux. Ignorant ce que diraient les poètes, les astronomes parlent d'une « occultation »... Après quoi, Lune reprendra sa route, pour un long mois, loin de sa belle.

Ne vous inquiétez pas trop pour Rohini ! Elle saura reconquérir son élu : n'est-elle pas devenue, la protectrice des amoureux, et n'est-ce pas vers elle qu'ils tournent leurs regards lorsqu'ils se prennent tendrement la main dans l'obscurité ?

Mais revenons sur la Terre !

Un beau jour, Dieux et Démons sont réunis sur le Mont Meru pour débattre avec ardeur du moyen d'obtenir l'élixir d'éternité, l'Amrita... Ce sera bien sur à Vishnu de proposer la solution : il suffit de « battre l'Océan », comme chez nous on bat le beurre... « Que les Devas agitent le bassin de l'Océan, et l'on verra surgir le fameux élixir, ainsi que maints joyaux et plantes nouvelles ! »

Sitôt dit sitôt fait : ils arrachent le Mont Mandara, le lient solidement au dos d'une tortue, et enroulent le serpent Vasuki autour de ce battoir géant. Un instant réconciliés, les Asuras se saisissent d'une des extrémités du serpent, les Devas se chargent de l'autre, et d'un puissant mouvement de va et vient, depuis les bords de l'Océan, ils font tourner le Mont Mandara sur son floteur improvisé, dans un sens, puis dans l'autre...

Et voilà que les arbres de la montagne, abattus par cet impétueux mouvement, subissent des frictions si terribles qu'ils s'enflamment ! Indra, heureusement, noie l'incendie sous des torrents de pluie : trop tard, la sève de toutes les plantes, libérée, dévale les pentes et se rue vers l'Océan, qui se transforme en lait, puis en beurre...

De ce liquide primordial, de cette « soupe primitive » vont naître le Soleil, la Lune, une infinité de trésors... et bien entendu le divin médecin Dhanvantari, porteur de l'élixir tant souhaité...

Dans l'inévitable mêlée générale qui suivit, tous voulaient profiter de l'aubaine. Bien sûr, les Devas, toujours sages, avaient pris une sage initiative : Vishnu se chargea d'interdire aux démons l'usage de l'élixir ! Mais voilà pourtant que l'un d'entre eux s'empara du breuvage. Lune et Soleil, heureusement, veillaient : Vishnu fut immédiatement prévenu du danger ! Il accourut sans délai. Voyant le démon porter la fiole à sa bouche, il dégaina son sabre divin. La tête de l'effronté fut tranchée et roula au loin : Trop tard ! Quelques gouttes d'élixir avaient déjà coulé dans son gosier tranché...

C'est ainsi qu'apparurent Rahu, la tête sans corps, et Kéthou, le corps décapité, tous deux immortels et rageurs. Ils ont juré d'en finir avec le Seigneur Lune et son compère le Soleil, responsables de leur malheur.

Ils se sont cachés dans la voûte céleste, sournois et invisibles. Ils font pourtant partie des planètes que les astronomes indiens poursuivent, astres invisibles qu'il faut pourtant situer avec précision parmi les constellations du ciel, de jour comme de nuit, pour prévoir leurs inéluctables méfaits...

Il arrive en effet que nos luminaires préférés, Lune ou Soleil, se hasardent imprudemment dans les contrées que hantent nos deux spectres. C'est alors le drame : ils se font l'un ou l'autre dévorer par le monstre. On voit bien l'avancée des mâchoires sur leur disque lumineux : l'éclipse se produit, inéluctable. Et si la Lune se teinte de rouge en ces occasions, c'est bien évidemment de la couleur de son propre sang !

Heureusement, lorsque Rahu dévore ses victimes, nulle digestion n'est possible : à peine a-t-il dégluti que sa victime peut repaître, indemne, à l'orifice de son cou. L'éclipse prend fin... On ne sait pas très bien ce qui se passe avec Kéthou, sans bouche, et donc sans dent ! Il est pourtant aussi à l'affût et ne manque pas de provoquer comme sa "moitié", de sinistres disparitions. Heureusement, les humains savent aussi effrayer efficacement les deux monstres : en déclenchant coups de tambours, gongs et autres cymbales, on accélère, c'est bien connu, la fin du phénomène ! ■



## ASTRONOMIE LES MIRAGES DE LA CREATION

### ASTRONOMIE

Martianus Capella

traduit et commenté par André le Boeuffle ;  
142 p ; édition Burillier 1998.

D'abord l'auteur : Martianus Capella. J'imagine que vous ne savez rien de lui, c'était mon cas hier. On croit tout ignorer de lui alors qu'en réalité toute la science d'aujourd'hui lui doit beaucoup, voire même l'essentiel, exister. En effet, au moment où s'effondre l'empire romain, tout lien avec les richesses acquises par la science antique aurait été perdu si Martianus Capella n'avait écrit et publié une véritable encyclopédie résumant tout le savoir de l'époque et joliment intitulée "Les noces de Mercure et de la philologie et des sept arts libéraux".

Les sept arts libéraux sont le *Triuium* (grammaire, logique, rhétorique), autrement dit les arts du discours, et le *Quadriuium* (géométrie, arithmétique, astronomie, musique) autrement dit les arts de la nature. L'astronomie est le huitième livre d'une encyclopédie en neuf volumes ; elle précède tout juste la musique, couronnement d'une culture harmonieuse.

On conçoit donc l'importance historique de Capella et le contenu de son Astronomie ne nous surprend pas : système géocentrique dans son ensemble, la Terre au centre du monde, avec un seul accroc, l'héliocentrisme de Mercure et de Vénus. On relit avec plaisir les définitions de la cosmographie classique, les cercles célestes, parallèles et colures (les colures sont les quatre demi-grands cercles passant par les pôles et un des quatre points :  $\gamma$ ,  $\gamma'$ , solstice d'été, solstice d'hiver).

Nous devons cette excellente traduction à André Le Boeuffle qui nous avait déjà donné chez le même éditeur son *Astronomie*, intéressante étude sur les noms des étoiles (cf. CC 75).

### LES MIRAGES DE LA CREATION

Michael Riordan et David N. Schramm.

Collection "Sciences d'aujourd'hui" ;

284 p. ; Albin Michel 1998.

#### Sombre Univers.

Cet Univers dans lequel nous vivons

plus ou moins à notre convenance, avons-nous une idée claire de son contenu, de ses richesses ou curiosités, de son passé, de son avenir ?

Depuis que Théorie de la Relativité et Théorie de la Mécanique Quantique ont permis une nouvelle appréhension du monde, les astrophysiciens multiplient les découvertes et proposent encore plus de problèmes aussi bien aux physiciens qu'aux philosophes. Sont donc les bienvenus les ouvrages de vulgarisation sérieuse qui permettent aux non spécialistes de participer, même si c'est seulement en spectateurs, à cette grande aventure de la connaissance, les nouvelles cosmologies. Ce que réussissent Michael Riordan et David Schramm dans leur ouvrage "les mirages de la création" qu'ils dédient à Andrei Sakharov et Jacob Zeldovich et qui est préfacé par Stephen Hawking.

Au départ, les deux grandes inventions-découvertes, les deux grandes idées-phares qui vont faire du XXe siècle un très grand siècle de l'histoire humaine malgré tous les massacres qu'il a connus. Alors qu'Einstein concevait plutôt un Univers statique, on peut dire que la Relativité impliquait l'expansion de l'Univers (découverte par Hubble en 1929) et par conséquent le théorie du Big Bang, c'est à dire de l'évolution de l'Univers à partir d'une explosion primordiale.

La découverte du rayonnement fossile (Penzias et Wilson en 1948) entraîne l'acceptation générale de la théorie du Big Bang même si cette cosmologie n'est pas sans poser des problèmes comme celui de la densité moyenne de l'Univers figurée par le paramètre  $\Omega$  dont l'évaluation est fort délicate alors que sa valeur est déterminante pour le grand avenir.

Dès le premier chapitre du livre, nous sommes avertis, selon que  $\Omega$  sera plus grand ou plus petit que 1, ou bien l'expansion s'arrêtera et l'Univers ira vers un grand effondrement (Big Crunch) ou l'expansion perdurera jusque vers un gigantesque refroidissement Big Chill).

Pendant que les astrophysiciens raisonnent ainsi à l'échelle des distances de l'ordre de l'année lumière et des durées de l'ordre du siècle ou du millénaire, les physiciens des particules explorent la matière au niveau de

l'atome (Perrin, 1912), puis au niveau des noyaux d'atomes, les protons et les neutrons, jusqu'en 1960 où Gell-Mann et Georges Zweig décomposent ceux-ci en quarks non sans adjonction d'une famille nombreuse de particules. Le modèle standard de la structure de la matière s'impose alors aussi bien aux astrophysiciens et aux physiciens, s'ils veulent bien conjuguer leurs recherches pour comprendre enfin un peu mieux notre Univers.

Revenons alors aux échelles astronomiques. La voie Lactée guidait jadis les pèlerins vers St Jacques de Compostelle. Ils ne pouvaient se douter que la Galaxie tourne sur elle-même comme les autres galaxies en général. Mais ces rotations font soupçonner l'existence de plus de matière que nous n'en voyons briller. Existerait-il une matière sombre ?

Autre approche, ce que les physiciens des particules réalisent dans leurs grands accélérateurs ne peut-il expliquer comment, au cours du Big Bang, la soupe initiale superénergétique a pu réaliser la synthèse primordiale de l'hydrogène et de l'hélium (ce dernier seulement pour 23 % du tout) ? Durant la décennie 1960-1970, les phases de la constitution de la matière se sont peu à peu précisées. Mais de nombreuses questions restent posées, tel le grand problème de savoir si les particules ayant le rayonnement le plus pénétrant qui soit, les neutrinos, ont une masse alors qu'on a longtemps cru le contraire.

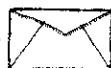
Progrès dans nos connaissances : nous pouvons maintenant concevoir qu'un milliard d'années après le Big bang, les conditions étaient réunies pour que, à la faveur de l'expansion

de l'espace et grâce aussi peut-être à quelques singularités qui restent à préciser, se réunissent les matériaux constitutifs des galaxies (qui seront ensuite des "maternités" d'étoiles). Dans les cieux à grande échelle, nous observons les galaxies en amas, lesquels sont réunis en filaments et en surfaces limitant de vastes espaces vides. Ici ou là, et justement près de notre Galaxie, dans le grand amas dont elle fait partie, on détecte un mouvement vertigineux vers ce qui a été appelé le Grand Attracteur.

En leitmotiv, dans chaque chapitre et à propos de tous les domaines étudiés, resurgit l'existence possible d'une matière sombre qui échappe à nos observations. Des nuages de gaz froids, des étoiles ratées, (ou naines brunes), des planètes géantes (du type de Jupiter) ne peuvent suffire à donner les masses soupçonnées. S'agit-il de trous noirs massifs ou bien existerait-il dans l'Univers une matière non constituée de quarks et d'électrons comme celle que nous connaissons ? Déjà, comme on l'a vu, physiciens des particules attachés au microscopique et astrophysiciens attachés au gigantesque ont collaboré fructueusement dans le passé, il est certain qu'ils auront encore beaucoup à faire ensemble.

Sachons gré à des spécialistes comme Riordan et Schramm de nous faire un peu partager leur grande aventure. Comme de vieux adorateurs du Soleil, les hommes ont attaché beaucoup d'importance à tout ce qui brille. Il est temps qu'ils comprennent que la matière sombre ne doit pas être négligée. Attendons-nous, demain, à pénétrer dans le sombre Univers.

Gilbert Walusinski ■



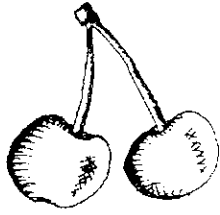
**N**otre collègue Paul Perbost, de Nice, propose à notre réflexion deux textes du grand astronome André Danjon sur le sujet délicat que représente le Temps solaire moyen.

... " L'introduction du temps moyen à l'aide du soleil moyen est traditionnelle dans notre enseignement élémentaire, mais elle constitue un cercle vicieux, que tous les sophismes dont on l'entoure ne suffisent pas à dissimuler. Parlerait-on d'un mobile animé d'un mouvement uniforme si l'on n'avait, a priori, l'idée d'un temps uniforme ? Et, du reste, qu'est-ce qu'un mouvement uniforme dont l'élongation ne peut être comptée à partir d'une origine invariable ?" (Les Humanités Scientifiques, mai 1948, p.323 ; Paris, Hatier éd.)

... " Il faut bien se garder de définir le soleil moyen comme un mobile décrivant l'équateur céleste d'un mouvement uniforme. Comme cela impliquerait l'existence d'une origine déterminée dans le plan de l'équateur, laquelle ne peut exister en raison de la précession des équinoxes, une telle définition n'a aucune signification. Le soleil moyen ne peut être défini correctement que par l'expression de son ascension droite." (Cosmographie, classe de mathématiques, Hatier 1948 ; p.133.)

**J**acques Vialle nous apporte une précision sur le dispositif construit par Bernard Lyot pour observer l'éclipse du 7 juillet 1945 (dessin de Gérard Lyot CC 82 p. 35) :

"... Ce dispositif ingénieux qui permet de transformer une monture azimutale en monture équatoriale est connu sous le nom de "Earl of Crawford's equatorial" (monture équatoriale type Comte de Crawford). On trouvera une description succincte de cette transformation dans J.B. Sidgwick, Amateur Astronomers's Handbook (1955) p. 229 et fig. 91. Je n'ai pas retrouvé la date de l'invention due à Crawford mais elle me paraît à première vue bien antérieure à Lyot. Ceci ne retire rien au savoir-faire et au génie extraordinaire de Lyot qui a fort habilement perfectionné le principe de la monture de Crawford, notamment en ce qui concerne la motorisation.



## BILAN ET EVALUATION DE L'UEA GAP 1998. COMPTE - RENDU DE L'AG DU CLEA 1998

### Bilan de L'Université d'été d'astronomie "Préparer l'observation de l'éclipse de Soleil du 11 août 1999"

L'évaluation résulte, d'une part d'un débat qui s'est déroulé à la fin de l'Université d'été et d'autre part des réponses individuelles à un questionnaire écrit.

#### 1 - Les stagiaires.

Venus de toutes les académies les stagiaires se répartissaient de manière équilibrée entre école élémentaire (12 + 2), collège (18) et lycée (18).

La répartition entre disciplines était la suivante : 12 enseignants de mathématiques, 16 enseignants de sciences physiques, 2 enseignants math-physique, 2 enseignants de SVT, 1 enseignant d'anglais, 2 enseignants de technologie, 1 enseignant d'histoire géographie, 12 instituteurs + 1 IEN + 1 CP.

Ils avaient dans leur grande majorité déjà une sensibilisation à l'astronomie et venaient avec un embryon de projet pédagogique lié à l'éclipse de 1999. Un certain nombre d'entre eux (18) animent un club d'astronomie.

#### 2 - Les animateurs et le matériel.

Les animateurs étaient au total 14 (dont 9 bénévoles) et ont assisté à la totalité de l'Université d'été. Ils ont pris toute responsabilité de l'animation de groupes de rédaction du compte rendu.

Ils ont également pris en charge l'organisation matérielle qui comportait :

- une bibliothèque d'environ 500 ouvrages et une vingtaine de vidéos ;
- un petit atelier permettant les réalisations de maquettes à deux et trois dimensions, de divers instruments, en carton ou en bois, et la photographie astronomique ;
- un ensemble de télescopes, dont deux équipés pour l'observation du Soleil ;
- un petit parc d'ordinateurs et un lien téléphonique donnant accès au réseau internet.

#### 3 - Le déroulement des activités.

Initialement prévu sur 8 jours, incluant une journée de repos à mi-parcours, l'avant projet d'Université d'été a dû être ramené à 6 jours, ce qui a conduit à supprimer la journée de repos et à limiter l'éventail des activités proposées : 5 cours de 3h chacun et un total de 14 activités pratiques de 2 ou 4 h. Compte tenu de l'hétérogénéité du groupe, les activités pratiques ont été réparties en 2 parcours différents. En outre des séances d'observation du Soleil et du ciel nocturne ont été régulièrement organisées.

Enfin, il a été demandé aux stagiaires de participer à la rédaction du compte rendu en prenant en charge la réflexion sur le réinvestissement, si possible en équipe.

#### 4 - L'évaluation.

Les stagiaires ont noté comme particulièrement positifs les points suivants :

- L'accent mis sur les réalisations concrètes qui permettront beaucoup de réinvestissements, une mise en oeuvre rapide et facile.
- Le bon niveau des cours, où chacun a su prendre ce qui lui était accessible ; malgré l'hétérogénéité du groupe, la grande majorité a apprécié que ces cours soient communs à l'ensemble des participants.
- La très bonne interaction entre des participants de discipline, de niveau d'enseignement et d'âge différents ; la pluridisciplinarité a joué à plein ; un groupe d'enseignants de lycée s'est spontanément proposé pour élaborer des thèmes de travail communs aux sciences physiques et SVT dans le cadre de l'option de sciences expérimentales en classe de 1<sup>ère</sup> S. Des parcours ont été proposés et figurent au compte-rendu.
- La présence des animateurs, pendant toute la durée de l'Université ; elle a permis une bonne cohérence, d'excellents échanges et un bon contact avec la profession.
- Le respect des animateurs pour les préoccupations pédagogiques ; l'état d'esprit

d'une équipe d'animation bien soudée a entraîné celui des stagiaires.

- Ces deux facteurs précédents sont à l'origine d'un décloisonnement unanimement apprécié, et considéré comme exceptionnel.
- La grande efficacité.

Cependant :

- Le temps d'échange a été insuffisant.
- Le temps consacré à la réflexion sur l'élaboration du compte-rendu en soirée (par les stagiaires, mais aussi par les animateurs) aurait pu être consacré au développement et à l'encadrement d'observations nocturnes.
- Certains auraient souhaité une véritable initiation à internet allant au-delà de la réalisation du compte rendu sur le web.
- Les parcours fixés n'ont pas été unanimement appréciés ; certains regrettent la plus grande liberté de choix que permettait le menu à la carte initialement prévu (et qui a été modifié compte tenu de la réduction du nombre de stagiaires d'une part et de la durée de l'Université d'été) : la plus grande efficacité a été acquise au prix d'une certaine directivité, jugée parfois contraignante.
- L'absence de jour de repos n'a pas permis l'ouverture souhaitée sur l'environnement : la montagne, le centre sportif qui nous hébergeait.
- Tous auraient souhaité une Université d'été plus longue de 8 ou même 10 jours au lieu de 6.

## 5 - Propositions des participants concernant les Universités d'été.

Unanimement, les participants ont manifesté leur attachement fort à ce dispositif. Alors même qu'il semble bien répondre à l'orientation actuellement choisie pour la formation continue, devant être prise de préférence sur le temps libre, on déplore le trop petit nombre d'Universités d'été effectivement proposées. On souhaite que leur nombre, leur durée et le nombre de stagiaires acceptés augmente sensiblement dans l'avenir. Nous reproduisons ci-dessous le commentaire écrit par l'un des stagiaires, qui nous semble bien résumer l'argumentation.

- *La rencontre de collègues de niveaux d'enseignement différents m'a permis de situer mon enseignement dans une progression de l'école primaire au lycée et d'avoir une vision très positive de la liaison primaire-collège.*
- *La rencontre de collègues de disciplines différentes m'a permis d'envisager des thèmes de travaux interdisciplinaires.*
- *La rencontre de collègues d'âges différents m'a permis de profiter de l'expérience de certains et de faire profiter d'autres de la mienne.*
- *La rencontre de collègues de régions différentes a permis de découvrir ou de mieux connaître les ressources de telle ou telle région. Pour l'éclipse 1999, nous avons pu envisager l'accueil de classes ou de petits groupes d'élèves pour assister à l'éclipse totale.*
- *En dehors de la qualité des connaissances apportées, cet aspect d'échange est primordial. Il doit être facilité par un nombre de jours de stage suffisant pour ne pas imposer un*

*rythme de travail trop dense, et par un nombre de formateurs bien supérieur à 1 pour 10.*

*- Ce moment intense de formation sur plusieurs jours avec la permanence de formateurs prêts à répondre à toutes questions, avec la possibilité d'observer le ciel de nuit m'a apporté beaucoup plus que d'autres stages sur plusieurs jours dans l'année en discontinu. Je me sens prêt à la rentrée pour réinvestir immédiatement les connaissances acquises dans mon enseignement.*

## Bilan des réponses au questionnaire écrit (43 réponses reçues) :

- Cette université d'été était-elle l'occasion d'un premier contact avec l'astronomie ?  
oui : 9% ; non : 81 % .
- Votre motivation pour y participer.
  - L'éclipse : trouver des outils appropriés à la préparation des élèves à son observation.
  - Acquisition ou approfondissement de connaissances.
  - Découverte d'ateliers pratiques.
  - Rencontre d'autres enseignants et d'astronomes.
  - Projets d'école.
  - Divers projets avec les élèves, en club.
  - L'éclipse est totale chez moi.
  - Activités en classe au long de l'année.
  - Structurer mes connaissances au contact de professionnels.
  - Utilisation en classe, surtout pour motiver les élèves présentant des difficultés.
  - Favoriser des contacts entre enseignants de SVT et de Sciences physiques.
- Hébergement : satisfaisant à la quasi unanimité ; on apprécie d'être logés sur place, l'accueil reçu et l'efficacité de la direction ; cependant deux personnes déplorent de ne pas avoir de chambres individuelles qui permettraient mieux le repos.
- Organisation de la journée et de la nuit en 3 types d'activités : cours le matin ; ateliers d'activités pratiques l'après-midi ; observations en soirée ; jugée satisfaisante à l'unanimité.
- Volume du programme :  
satisfaisant : 80 % ; trop chargé : 20 % .
- Les sujets abordés répondaient-ils à votre attente ?  
oui 80 % ; ceux qui répondent non mentionnent essentiellement l'insuffisance d'encadrement des observations nocturnes et plus rarement la trop grande densité des cours.
- Le niveau des activités pédagogiques : satisfaisant à l'unanimité.
- Le choix de l'ensemble des activités pratiques : satisfaisant à l'unanimité ; formule à reconduire à la quasi unanimité, certains proposant de revenir à un parcours à la carte ; un stagiaire, déjà bien familiarisé avec l'astronomie souhaiterait un parcours moins bien huilé et une certaine prise de risque.

- Que pensez-vous des méthodes pédagogiques de l'équipe enseignante ? les réponses vont de satisfaisantes à excellentes ; il est parfois noté : des cours un peu trop denses, une trop grande directivité (en particulier dans le choix des ateliers).

- L'encadrement était-il suffisant en nombre et en efficacité ? oui, à la quasi unanimité : la seule restriction concerne l'encadrement des observations nocturnes ; on note la disponibilité, la courtoisie, la bonne entente au sein de l'équipe.

- Etes-vous satisfaits de la documentation fournie ? oui à l'unanimité ; une seule remarque (deux personnes) sur les textes des cours qui n'étaient pas in extenso.

- Avez-vous apprécié la bibliothèque ? oui, à l'unanimité ; trois personnes déplorent de ne pas avoir eu assez de temps pour la consulter.

- Quelle est votre appréciation sur la phase finale d'organisation du compte rendu ? réponses généralement positives : enrichissante, a permis la participation de tous, un peu anarchique mais ça marche, permet de se pencher sur la retransmission ; quelques uns regrettent le temps pris sur autre chose...

- **Bilan global :**

- a - sur les contacts et échanges avec les collègues : faciles ; riches ; des projets d'actions communes localement ; excellents ; fructueux ; sympathiques ; constructifs, passion-

nants ; la présence d'instituteurs, de professeurs de collège et de lycée a permis des échanges peu habituels lors des stages MAFPEN.

- b- sur le réinvestissement au niveau des élèves : beaucoup d'idées et de manipulations directement utilisables, même s'il reste pour certains un travail personnel à faire ; plusieurs apprécient la qualité des documents distribués. Deux personnes notent l'importance du contact avec des professionnels.

- Quelle est votre principale critique ? : manque de temps : activités très soutenues ; pas de jour de repos ; cours parfois denses ; ne pas avoir utilisé internet ; manque de temps pour faire le point ; pas assez de gros instruments d'observation ; j'aurais souhaité qu'on se centre plus sur l'animation d'un club ; je suis un peu fatigué.

- Qu'avez-vous le plus apprécié ? : les ateliers, avec leur côté bricolage (simple, économique) ; tout particulièrement la démarche (type TP-TOP) adoptée pour la mesure de la constante solaire ; l'ambiance très conviviale et l'intégration facile des animateurs parmi les stagiaires ; la rencontre avec des collègues qui ont les mêmes centres d'intérêt ; la qualité des animateurs ; le respect des préoccupations pédagogiques ; le contact et les échanges avec les collègues ; le mélange subtil de décontraction et de sérieux dans le travail ; les échanges d'expérience avec les collègues et les discussions avec les astronomes ; la diversité des sujets ; les idées de maquettes.

Lucienne Gouguenheim ■

## Mettez votre planétaire à l'heure.

Longitude écliptique héliocentrique  
des planètes visibles à l'œil nu au 1<sup>er</sup> janvier 1999 à 0 h.  
(Source : Bureau des Longitudes)

<b>Mercure:</b>	<b>214° 37'</b>
<b>Vénus :</b>	<b>316° 17'</b>
<b>Terre :</b>	<b>100° 07'</b>
<b>Mars :</b>	<b>162° 37'</b>
<b>Jupiter :</b>	<b>2° 50'</b>
<b>Saturne:</b>	<b>32° 38'</b>

# Compte - rendu de l'assemblée générale du CLEA : Orsay 1998

Notre présidente, Lucienne Gouguenheim, accueille la centaine de participants et présente l'ordre du jour, structuré en quatre grandes parties. Durant toute l'assemblée elle veillera à apporter des précisions, à animer les discussions et à faire en sorte que chacun puisse s'exprimer tout en laissant du temps pour les autres. Le nombre et la richesse des interventions ont fait que les derniers intervenants ont eu très peu de temps (ou même pas du tout) ce qui est en partie compensé par ce compte-rendu.

Il est vrai que comme chaque année le plaisir de se retrouver et d'échanger fait que les pauses se prolongent un peu plus que prévu. La convivialité du CLEA est favorisée par l'excellent repas préparé par Béatrice Sandré et Annie Petit. Lucienne a concilié cette belle journée en remerciant toutes les personnes qui avec discrétion et efficacité ont permis le bon déroulement matériel de cette rencontre (service, rangement, ouverture des portes...).

## 1 - La vie du CLEA.

### 1.1 - Le rapport financier.

Catherine Vignon nous présente un bilan (cf. p. 38) qui semble déficitaire mais l'achat d'un nouveau Starlab - l'ancien acheté il y a plus de 12 ans ayant rendu l'âme - sera amorti par sa location.

#### Le gros problème

**est la baisse des adhérents et des abonnés.**

Il y a actuellement 910 abonnés (plus 57 VIP) alors que l'an passé il y en avait 960 (avec le même nombre de VIP). Le bilan des Cahiers Clairaut (tirage actuel 1250) est équilibré mais pas bénéficiaire. Nous comptons donc sur chacun d'entre vous pour faire connaître et diffuser notre revue autour de vous. Il est possible, en s'adressant à Catherine (21 rue d'Anjou, 92600 Asnières) d'obtenir des exemplaires d'anciens numéros à distribuer à des enseignants motivés.

Vous-mêmes ne tardez pas à vous réabonner : les lettres de rappel coûtent du temps (nous sommes tous bénévoles) et de l'argent à l'association. Nous espérons que la nouvelle formule de réabonnement fera diminuer de manière notable le nombre des "distraits".

Une plaquette simplifiée (uniformisation des frais de port) paraîtra au début de l'année 1999. Les nouveaux tarifs concernent uniquement les fascicules pour la formation des maîtres et les photocopiés d'astrophysique de l'université de Paris XI. actuellement vendus à perte. En effet, ces publications sont photocopiées à raison de 30 centimes la page.

### 1.2 - Les Cahiers Clairaut.

Le comité de rédaction remercie les personnes qui participent à la revue, en écrivant des articles, en dénichant des sujets ou des auteurs potentiels ou en faisant une relecture critique et attentive. Pour équilibrer la revue, il est parfois nécessaire de différer la publication d'un article.

Mais surtout, continuez à nous envoyer vos contributions suffisamment à l'avance. Nous nous efforçons de développer la rubrique "avec nos élèves" et ce qui nous manque le plus, sont les contributions concernant l'école élémentaire : nous faisons donc un appel en ce sens.

Victor Tryoën propose la création d'une rubrique "questions - réponses", où des questions simples, nécessitant des réponses courtes seraient posées. Il pense que certains lecteurs n'osent pas le faire. Alors, à vous de jouer...

### 1.3 - Le site web du CLEA.

Francis Berthomieu nous présente l'état actuel du site et vous invite à le consulter :

<http://www2.ac-nice.fr/clea>

Il propose un certain nombre de suggestions pour faire évoluer le site :

- lien avec les correspondants académiques : il souhaite que chaque correspondant lui signale les stages, les cours, les actualités de sa région, et que ceux qui possèdent un e-mail établissent un lien avec le site.
- mise en place de projets coopératifs avec différentes écoles en divers lieux, par exemple observation d'un même phénomène de plusieurs endroits différents puis mise en commun et exploitation.
- présentation et réactualisation d'anciens articles des CC permettant un travail collectif.

Cléanauts, envoyez vos suggestions à Francis, proposez lui des idées de liens avec d'autres sites.

Une discussion s'est engagée d'où il ressort que le site CLEA doit aider les enseignants à construire des activités pédagogiques avec leurs élèves (et s'il peut établir des liens avec des associations d'amateurs, il n'a pas à se substituer à eux en organisant des forums). Une dynamique de projet doit s'instaurer permettant la réalisation d'un travail approfondi et achevé, pouvant faire éventuellement l'objet d'un article synthétique dans les Cahiers.

### 1.4 Présentation de l'UEA de Gap 98.

Le bilan de cette Université d'été faisant l'objet d'un article dans ce numéro, Jean Ripert nous présente brièvement son compte-rendu sur le web. On y trouve l'intégralité des cours, le compte-rendu de chaque atelier avec la liste des réinvestissements possibles à différents niveaux (nous signalons particulièrement l'atelier A1, consacré à l'éclipse de Soleil du 11 août) avec des fichiers téléchargeables.

Jean nous rappelle que l'Université d'été est un levain, un moyen de rencontre entre personnes de disciplines, d'âges, de régions, de niveaux d'enseignement, différents.

### 1.5 Réalisations pédagogiques à Strasbourg.

- Agnès Acker nous présente l'enseignement de l'astronomie à l'Université de Strasbourg et en particulier la licence pluridisciplinaire destinée aux futurs professeurs d'école (seuls 10% d'entre eux font une licence scientifique). L'astronomie intervient bien sûr en physique mais aussi dans la formation des futurs professeurs de SVT et des étudiants en médecine.

**Situation des comptes au 1<sup>er</sup> nov 1997**  
**Caisse d'Épargne : 264 901, 87 C.C.P : 155 916, 44**

**Recettes du 1<sup>er</sup> nov 97 au 31 oct 98**

Abonnements simples	23 000	
abonnements et adhésions	103 125	
Cotisations de soutien	4 846	
<b>sous total Cahiers Clairauts</b>		<b>130 971</b>

Cours d'Orsay	3 983	
Fascicules de formation des maîtres	13 023	
<b>sous total Anciennes Collections</b>		<b>17 006</b>

Transparents	3 098	
Diapositives	18 817	
Hors-série	24 243	
F.C.R.	3 085	
<b>sous total Collections Nouvelles</b>		<b>49 243</b>

Documents fiches CLEA Belin	946	
Prêt du starlab	2 850	
UEA Gap 1998	15 738	
Intérêts du Compte d'Épargne	9 125,72	
A.N.P.E (contrat pour S. Durand)	9 230,76	
Divers (dont stage Assoc Nle Scet Tech)	3 875	
CNED	7 040	
(Cpte + du relevé n°15)	3330,59	
<b>sous total de ces recettes "diverses"</b>		<b>52 136,07</b>
<b>TOTAL des RECETTES :</b>		<b>249 356,07</b>

**Dépenses du 1<sup>er</sup> nov 97 au 31 oct 98**

Impression des C. Cl	106 628,85	
Routage APF (79-80-81-82-83)	24 067,25	
<b>sous total Cahiers Clairaut</b>		<b>130 696,10</b>

Achats - de réseaux	5 696,02	
- de filtres colorés	5 340,34	
Tirages des diapos (HS6 Nébuleuse du Crabe)	1 676,34	
Nouveaux tirages en photocopies (4x3 000F)	12 000	
Réparation de l'ancien starlab	357,90	
Achat du STARLAB	121 937,46	
Reproduction Fiches CLEA Belin	12 717,27	
Frais postaux	13 096,75	
Equipements de bureaux	7 283,18	
CNED	3 660	
UEA Gap (parapluies, arrhes et factures)	20 755,4	
Expédition des convocations AG 1997	981,21	
Traitement de S. Durand et charges	60 677	
Achat triptyque éclipse SAF	1 100	
Achat TdC Soleil	4 520	
Mise à jour Voyager II	880	
Divers	5 863,73	
<b>TOTAL des DÉPENSES :</b>		<b>402 242,7</b>



Elle rappelle l'organisation du Rallye Mathématique par Eliane Legrand et les Olympiades de la Physique par Alain Sprauer et Christine Lauhère (planétarium).

- au planétarium de Strasbourg, Corinne Guerling, Jean-Yves Marchal et Isabelle Mayer organisent des spectacles sur 4 niveaux avec une préparation pour les enseignants (Thomas Duwing s'occupe des écoles) et des traductions en direction des classes de langues (allemand puis anglais). Compte-tenu d'un certain désintérêt du public pour les expositions avec posters, des "manips" et des ateliers internet avec de bonnes adresses sont organisés grâce au travail d'un PRAG (François Schnell) et de deux jeunes.

L'Assemblée Générale de L'Association des Planétariums de Langue Française ainsi que la réunion internationale des planétariums mobiles (Susan Reynolds) aura lieu au Conseil de l'Europe à Strasbourg les 10, 11, 12 mai 1999.

- L'éclipse de 1999 est le moyen d'intéresser le public à l'astronomie. Un cahier "au rythme du Soleil" édité par l'Ariena sera distribué gratuitement aux élèves de primaire et de 6<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> de la Région. Ce fascicule comporte dix doubles pages (présentation du sujet : l'astronomie : alternance des jours et des nuits ; saisons ; phases de la Lune ; éclipses de Soleil ; les étoiles : l'étoile Soleil ; l'énergie solaire ; l'atmosphère ; vocabulaire et actions). Vous pouvez en tant que membre du CLEA, vous procurer ce cahier pour 10F seulement en vous adressant au planétarium de Strasbourg. Des lunettes en polymère noir, sur monture carton noire, sans danger, sont vendues pour quelques francs.

Enfin, une Université d'été est organisée par l'Observatoire de Strasbourg du 6 au 11 août 1999, destinée aux professeurs de SVT et de physique. Si vous êtes intéressés prenez rapidement contact avec Agnès Acker (CLEA) à l'Observatoire de Strasbourg :

11, rue de l'Université, 67 000 Strasbourg.

### 1.6 Le groupe CLEA de Marseille.

Marie-France Duval nous présente rapidement quelques unes des activités de l'association Andromède :

- l'animation scolaire qui concerne 10 000 élèves par an.  
- dans les IUFM l'astronomie est en concurrence avec les technologies nouvelles et l'enseignement est passé de 18h à 12h mais les ateliers sont un cadre possible pour l'astronomie.

Elle nous fait connaître une expérience réalisée par J.P. Odabachian professeur de physique au collège Malraux, Marseille 13<sup>e</sup>. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la classe d'innovation en 6<sup>e</sup> depuis 1995, dans le club d'astronomie depuis 1995, et d'un parcours diversifié en 5<sup>e</sup> depuis 1998 (2 h par semaine pendant un trimestre).

Cette initiation à l'astronomie se fait suivant trois axes :  
- préréflexion à la maison guidée par un polycopié et invitant les élèves à concentrer leur intérêt sur un sujet précis, basée sur des questionnements à réaliser auprès des parents, des professeurs, des recherches au C.D.I.  
- mise en activité par des observations de jour au collège, et de nuit avec les parents, études de diapos, de films vidéo, utilisation de maquettes, de logiciels, visite de l'Observatoire de Marseille, discussion avec des conférenciers.

- la séance de classe permet une mise au point et débouche sur la réalisation d'un instrument ou d'une maquette.

Un fascicule élaboré avec la participation de Marie - France Duval et de Lionel Ruiz présente dix "manips". Il sera bientôt soit publié sous forme de brochure soit diffusé sur Internet. Les dix sujets traités sont : géocentrisme et héliocentrisme ; problèmes d'orientation : les trajectoires apparentes du Soleil ; La Terre et la Lune, ; les méridiens et parallèles, latitudes et longitudes : les calendriers ; Pythéas le massaliote; les cadrans solaires ; découverte de la voûte céleste ; construction d'une lunette astronomique.

Cette expérience a apporté une amélioration du comportement, de l'assiduité, de la curiosité, de l'attention, a développé l'habileté manuelle et technique, a induit un enrichissement du vocabulaire, permis les prémisses d'un raisonnement scientifique et amélioré les rapports triangulaires élèves-parents-professeurs.

Jean Pierre Odabachian souhaite des contacts : vous pouvez lui écrire : 4 , boulevard de Compostelle 13012 Marseille ou lui téléphoner (04 91 93 86 12).

## 2 - Nos petits et grands frères.

### 2.1 L'opération "lycée de nuit" lancée et suivie par l'ANSTJ.

L'Association Nationale Sciences et Techniques Jeunesse a pour objectif de développer chez les jeunes des projets de groupe dans des domaines tels que l'astronomie, l'espace, etc... Dans cette opération, l'ANSTJ est l'interface entre les lycées et les observatoires professionnels. Ses animateurs suivent et aident les groupes à préparer leur mission.

Le CNRS et l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers) mettent à disposition des techniciens et des astrophysiciens durant les missions dans les observatoires professionnels afin d'assurer un accueil enrichissant des différents groupes.

En 1997-1998 une dizaine de lycées ont participé à l'opération "lycée de nuit" qui se poursuit cette année. Elle est une occasion exceptionnelle, pour les élèves et les enseignants intéressés par l'astronomie, d'aller beaucoup plus loin dans ce domaine. L'accompagnement par un animateur de l'ANSTJ assure à l'enseignant responsable l'aide dont il a besoin. L'expérience de travailler et vivre quelques jours dans un observatoire professionnel est extraordinaire et enrichissante et les jeunes qui ont participé à ce projet ne sont pas près de l'oublier !

Marie-Claude Paskoff et Didier Demarque se sont lancés dans cette opération. Les lycéens ont choisi leur projet. Dans une première phase chaque groupe a acquis les notions théoriques et méthodologiques indispensables. Ensuite il a effectué une mission de 5 jours à l'Observatoire de Haute Provence et a pu disposer du télescope Cassegrain de 80 cm ; ce dernier est équipé d'une caméra C.C.D. et d'un cryostat pour refroidir la caméra. Un ingénieur de l'O.H.P. a initié les élèves à l'acquisition et au traitement d'images C.C.D. Le technicien de nuit a montré la manipulation des verniers pour afficher les coordonnées de l'astre et l'utilisation du temps sidéral donné par l'horloge pour déterminer l'angle horaire.

Marie Claude Paskoff s'est occupée, au lycée La Bruyère de Versailles, du projet "étoiles doubles". Ce travail fait l'objet d'un article dans le présent numéro. Didier Demarque a accompagné le projet "rencontre avec des astéroïdes": l'identification d'un astéroïde connu nécessite de réaliser au moins six images, prises à intervalles réguliers pour mettre en évidence le déplacement de l'astéroïde sur le champ d'étoiles. Le choix s'est porté sur Melpomène dont la période orbitale est de 3.48 années et qui se déplace de 17 minutes d'arc par jour. La caméra C.C.D associée au télescope de 80 cm possède un champ de 80', Melpomène devait traverser ce champ en moins de 5 h 40 min., durée tout à fait convenable pour une nuit d'observation. Didier nous parlera des détails dans un prochain numéro.

Pour conclure, laissons parler un élève de Didier :

" ... La mission nous apporta plus que les fruits de nos observations, elle nous permit de découvrir les conditions de travail des astronomes de l'O.H.P. Ces chercheurs ont eu l'amabilité de nous expliquer leurs travaux, de nous faire visiter leur environnement de travail et de nous renseigner sur les technologies mises en oeuvre... Cette rencontre aura eu l'avantage, parmi tant d'autres, de renforcer des projets d'avenir ou d'en faire naître... "

## 2.2 Enseignement de l'astronomie en Suisse romande.

Didier Raboud (Observatoire de Genève, 1290 Sauvigny Suisse), souhaite, avec la création d'une association "L.E.A." réaliser une structure légère, au niveau romand, participant à la diffusion la plus large possible de connaissances astronomiques. L'absence d'enseignement officiel de l'astronomie fait que les enseignants non spécialistes se trouvent désarmés.

Pour prouver l'utilité et la faisabilité de cette structure, une expérience pilote a été mise en place avec 30 enseignants genevois de l'école élémentaire à la maturité (qui correspond à notre baccalauréat). Sont proposés :

- des modules pédagogiques qui utilisent un matériel de base (américain et CLEA) qui est ensuite homogénéisé, testé et critiqué pour être enrichi. Il s'agit de fabriquer un matériel original utilisable par tous les enseignants et réinjectable au niveau international (E.A.A.E.).
- deux sites internet : l'un concerne la liaison astronomes enseignants et centralise les différents travaux, l'autre s'intitule "questions" à un astronome, et tout membre de l'équipe de l'Observatoire de Genève peut y répondre. (<http://obswww.unige.ch>)
- des collaborations et formations : partenariats pédagogiques (entretiens, préparations de séquences pédagogiques, prêt de matériel, présence en classe), cours de formation continue (ex : journées à l'école primaire de Lully).
- un projet d'Ecole d'été ayant une structure proche de celle des Universités d'été du CLEA est en train de se monter. L'appel aux animateurs du CLEA pour les ateliers a été entendu.

La rencontre enseignants astronomes qui a eu lieu à Sion début novembre a réuni 90 participants et permet d'envisager de profiter des changements de programme pour y introduire de l'astronomie.

## 2.3 La Cité de l'Espace à Toulouse.

Jean Noël Sarraill, professeur détaché au service éducatif de la Cité de l'Espace à Toulouse nous présente la diversité du travail pédagogique réalisé et les moyens mis en oeuvre pour sensibiliser les enseignants, depuis l'ouverture de la Cité, en juin 1997.

Une information a été envoyée à tous les établissements scolaires des académies de Toulouse, Bordeaux et Montpellier (9000 envois). Depuis 1997, chaque mercredi, 50 à 100 enseignants bénéficient d'une pré-visite gratuite. Par la suite les professeurs assistent avec leur classe à des ateliers pédagogiques ce qui leur donne des idées pour mener une activité en astronomie en classe. Dès leur réservation les professeurs reçoivent un dossier pédagogique contenant un grand nombre de questions ce qui leur permet d'élaborer un questionnaire destiné à leurs élèves.

Les ateliers concernant l'astronomie sont au nombre de trois : Système Soleil-Terre-Lune, Système Solaire (avec des activités différentes pour le niveau 1 (primaire et 6<sup>e</sup>) d'une part, et le niveau 2 (5<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>) d'autre part), Naissance, vie et mort d'une étoile (niveau lycée).

Par ailleurs des stages "MAFPEM" sont organisés à la Cité, notamment un portant sur la prochaine éclipse de Soleil. Pendant l'année scolaire 1997-1998, 50 000 élèves ont visité la Cité ce qui confirme l'intérêt porté par les enseignants aux services éducatifs proposés.

La Cité de l'Espace se veut un lieu de culture scientifique - et non un parc d'attractions - dans lequel l'Education Nationale a sa place, ainsi que l'enseignement de l'astronomie (et le CLEA...).

## 2.4 Présentation des documents SAF.

Joël Minois nous présente rapidement les documents élaborés par la Société Astronomique de France pour préparer l'éclipse : une plaquette jolie et habilement faite, baptisée "le triptyque" est un document de sensibilisation ; une carte postale représente la zone de totalité ; un verre de soudeur n° 14 (attention les drogueries ne proposent en général que des verres ne dépassant pas le n° 12 !) permet d'observer l'éclipse absolument sans danger : une exposition en cours de préparation comporte 20 panneaux et 25 affiches. Pour plus de renseignements : SAF : 3, rue Beethoven, 75 016 Paris ; <http://www.iap.fr/saf/>

## 2.5 La Cité des Sciences et de l'Industrie.

La Cité de la Villette se propose d'aider les classes qui le désirent à réaliser des projets sur l'éclipse, de recenser l'ensemble des travaux d'élèves réalisés et d'en publier les coordonnées sur son site. Pour toute documentation ou renseignements, contacter notre collègue du CLEA, Martine Gourgeot, Département Education, DDSS, Cité des Sciences et de l'Industrie 75 930 Paris Cedex 19. [M.gourgeot@cite-sciences.fr](mailto:M.gourgeot@cite-sciences.fr)

## 2.6 Le groupe astronomique Hague Querqueville.

René Cavaroz propose un hébergement dans son lycée, situé dans la zone de totalité (180F par jour). Réserver avant le 10 décembre : René Cavaroz, Lycée Grignard, BP 307, 50103 Cherbourg. Fax : 02 33 93 33 73.

### 3 - Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur les clubs...

Suite à une demande des stagiaires de l'UEA de Gap, Pierre Causeret propose une mise en commun des travaux réalisés pour préparer l'éclipse...

De nombreux clubs, parcours diversifiés, ateliers scientifiques ou PAE ont été mis en place cette année pour préparer l'éclipse de Soleil du 11 août 1999. Les enseignants qui organisent de telles activités peuvent être intéressés par ce qui se passe dans d'autres établissements. On peut même envisager de monter des expérimentations en commun. C'est le rôle du CLEA de favoriser ce type d'échange. On peut proposer des regroupements de plusieurs établissements travaillant sur un même sujet.

#### 3.1 Exemples d'activités réalisables en club sur les thèmes du Soleil et de la Lune.

La plupart des idées proposées s'inspirent de diverses activités décrites dans les Cahiers Clairaut ou dans les hors-séries.

##### • Mouvement apparent du Soleil.

→ Observations :

- Saladier : relevé de la position du Soleil sur une demi sphère transparente. A faire au cours de la journée plusieurs fois par an.

- Relevé d'ombres sur une planchette munie d'un gnomon (vis, rivet...) ou sur le sol d'une salle de classe exposée au Sud en plaçant un œilleton sur une vitre. On note toutes les demi-heures.

→ Exploitation :

- Détermination des points cardinaux et tracé du méridien local.

- Calcul de la hauteur du Soleil à midi à différentes dates.

- Calcul de la latitude connaissant la déclinaison du Soleil.

- Détermination du midi solaire.

- Détermination de la longitude.

- Calcul de la quantité d'énergie reçue au cours d'une journée.

→ Autres activités :

- Calcul de la durée de la journée à partir d'un calendrier.

- Réalisation de cadrans solaires.

- Réalisation d'un globe terrestre simplifié pour comprendre les saisons.

##### • Diamètres apparents du Soleil et de la Lune.

→ Observations :

- Mesure du diamètre apparent du Soleil, observé à travers une feuille de Mylar (en bon état) : on mesure par exemple 5 mm de diamètre à 50 cm.

- Mesure du diamètre apparent du Soleil en utilisant une feuille de carton percée et en mesurant le diamètre du disque lumineux.

- Mesure précise du diamètre apparent du Soleil à partir d'une lunette.

- Même principe pour la Lune mais sans filtre, avec ou sans lunette.

→ Exploitation :

- Vérifier que le Soleil et la Lune ont sensiblement le même diamètre apparent.

Pour les calculs, on utilise de la 6<sup>e</sup> à la 4<sup>e</sup> la longueur d'un arc de cercle, proportionnelle à l'angle au centre ; à partir de la 3<sup>e</sup> la trigonométrie puis les radians avec  $d = r\alpha$ .

- Avec des mesures précises, on peut vérifier que l'on est plus près du Soleil en janvier et que la distance de la Lune varie.

##### • Etude de la photosphère et de la chromosphère.

→ Observations :

Il faut toujours prendre un maximum de précautions. L'observation du Soleil est dangereuse. On peut observer les taches solaires :

- Par projection derrière un télescope, une lunette ou une paire de jumelles.

- Derrière un instrument si l'on possède un bon filtre, prévu pour cela.

On peut aussi photographier les taches solaires.

Les protubérances peuvent être suivies avec un télescope muni d'un filtre H-alpha (mais son coût est élevé).

→ Exploitations :

- Relevé des positions des taches et calcul de la période de rotation du Soleil.

- Dessin des taches et suivi de leur évolution.

- Suivi des protubérances.

- Réalisation d'une maquette du Soleil avec positionnement des taches à une époque donnée.

##### • La Lune (phases et surface).

→ Observation :

- Dessiner la forme de la Lune régulièrement en notant le jour, l'heure et la direction de l'observation.

- Observer la surface lunaire au télescope.

→ Exploitation :

- Maquette expliquant les phases lunaires.

- Calculer le diamètre d'un cratère ou la hauteur d'une montagne lunaire.

→ Divers :

- Calculer la durée moyenne de la lunaison à partir d'éphémérides.

- Réalisation d'un lunoscope.

##### • Les éclipses de Soleil.

- Calculer à partir d'éphémérides le temps écoulé entre 2 éclipses.

- Calculer la vitesse de l'ombre.

- Calculer la longueur du cône d'ombre.

- Maquettes.

##### • Divers

- Enquête auprès des autres élèves sur certaines connaissances en astronomie avec affichage ensuite des réponses.

- Réalisation de pages Internet pour les sites d'établissements scolaires.

- Maquettes (système solaire, surface lunaire...).

#### 3.2 Travaux en commun.

Dans les activités décrites en 3.1, quelques-unes peuvent permettre de travailler à plusieurs établissements :

- Observation des taches solaires. On pourrait échanger des relevés en fixant certaines normes (diamètre du Soleil, indi-

cation de la direction Est Ouest), pour tenter de remédier à une couverture nuageuse souvent importante.

- Détermination de la longitude. Après avoir tracé une méridienne, on a sans problème l'heure solaire. Le décalage d'heure solaire entre deux lieux donne l'écart en longitude.- Comparer des relevés d'ombre faits le même jour depuis deux lieux différents. On peut en déduire que la Terre est ronde et calculer la différence de latitude. On peut aussi trouver la circonférence de la Terre.

- L'observation de l'éclipse le 11 août depuis 2 lieux différents et à une même heure permettra de déterminer la distance de la Lune.

### 3.3 Liste d'adresses électroniques.

Pour pouvoir échanger diverses informations sur les activités des clubs, parcours, ateliers...

### 3.4 Page sur le serveur du CLEA.

Elle pourrait contenir la liste ci-dessus, des références pour trouver la description de diverses activités, des adresses de personnes à contacter pour centraliser les activités du 3.2, une liste des clubs, ateliers, parcours... travaillant cette année sur le Soleil avec leurs projets et leur adresse.

Une vingtaine d'enseignants se sont déjà inscrits, lors de l'A.G., pour ce travail en commun. Si vous animez un atelier, un parcours diversifié ou un PAE sur l'astronomie, vous pouvez envoyer votre adresse à Pierre Causeret; en indiquant votre nom, le type d'activité (club, parcours..) le niveau, les thèmes que vous pensez aborder cette année, votre adresse personnelle et/ou celle de votre établissement et votre adresse électronique. (Sentier du Mordain 21170 Esbarres ; Pierre.Causeret@wanadoo.fr).

## 4 - La vie de l'E.A.A.E.

Josée Sert et Bernard Pellequer n'ayant pu se déplacer, un compte-rendu de la réunion de Stockholm sera publié dans le n° 85. Voici toutefois des informations sur deux groupes de travail particulièrement actifs de l'E.A.A.E.

### 4.1 Deuxièmes rencontres européennes : concepts astronomiques

Les deuxièmes rencontres européennes : « Concepts Astronomiques » organisées par l'E.A.A.E auront lieu à la Cité de l'Espace à Toulouse les 18, 19 et 20 mars 1999 ; ces rencontres font suite à la réunion de Porto en novembre 1997 qui avait permis de définir les principaux objectifs à atteindre dans l'enseignement de l'astronomie à l'école pour les enfants de 7 à 12 ans. Cette nouvelle réunion permettra aux membres du groupe « Concepts astronomiques », de réaliser un travail identique pour les étudiants de 13 à 18 ans, ceci dans le cadre de la Cité de l'Espace où le service éducatif en direction de tous les niveaux scolaires est particulièrement actif.

Les représentants de la commission pour la France, tous deux membres du C.L.E.A. et responsables de l'organisation de ces journées sont Lucette Mayer et Jean- Luc Fouquet, avec, à Toulouse, l'aide précieuse de Jean-Noël Sarrail, responsable du service éducatif de la Cité de l'Espace.

### 4.2 La troisième Université d'été de l'E.A.A.E.

Celle-ci aura lieu à Briey, près de Metz du 9 au 14 août 1999 et sera bien sûr consacrée à l'éclipse de Soleil. Elle est prévue pour accueillir une cinquantaine de stagiaires venant des pays d'Europe membres de l'E.A.A.E. Les langues parlées y seront l'anglais, le français et l'espagnol. Un de ses objectifs est de confronter les méthodes pédagogiques de ces pays et éventuellement de former de jeunes professeurs.

S'adresser à Frédéric Dahringer :

8, rue Albert Camus, 29130 Quimperlé.

L'assemblée générale se termine sur le temps fort de la conférence de Robert Mochkovitch "les explosions de supernovae". De la belle physique, à l'œuvre dans cette phase de la vie stellaire et magistralement présentée. Un article pour les Cahiers est en projet. Merci à Robert .

### Questions pratiques.

Le bilan financier a été adopté à l'unanimité des présents.

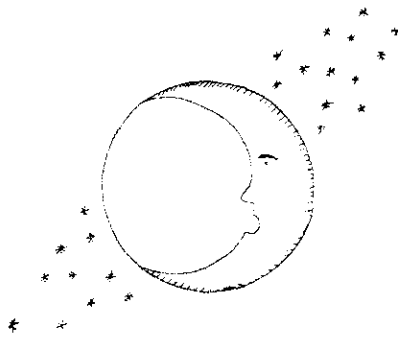
Le Conseil du CLEA pour 1999-2000 est élu à l'unanimité des 71 votants.

Vous trouverez dans cette liste les correspondants académiques et les personnes qui ont des responsabilités particulières au CLEA.

Agnès ACKER (Strasbourg), Daniel BARDIN (Aix-Marseille), Francis BERTHOMIEU, Martine BOBIN, Lucette BOTTINELLI, André BRAHIC, Pierre CAUSERET (Dijon), Jean CHAPELLE (Clermont-Ferrand), Frédéric DAHRINGER (Rennes), Françoise DELMAS, Jacques DUPRE, Christian DUMOULIN (groupe Inter-IREM), Bernadette DURJEUX (Nancy-Metz), Marie-France DUVAL (Aix-Marseille), Jean-Luc FOUQUET (Poitiers), Christiane FROESCHLE (Nice), Joël GAUDRAIN (Rouen), Michèle GERBALDI, Lucienne GOUGUENHEIM, Edith HADAMCİK (Créteil), Jean-Claude IERPIN (UdP), Michel LAISNE, Lucette MAYER (Orléans-Tours), Francis MINOT (APMEP), Jean-Paul PARISOT (Bordeaux), Jean-Claude PECKER, Claude PIGUET (Lyon), Annie PINCAUT (Reims), Henri REBOUL (Montpellier), Jean RIPERT (Toulouse), Jean-Paul ROSENSTHIEL (Nantes), Béatrice SANDRE (Versailles), Nicole SANGLERAT, Liliane SARRAZIN VILLAS (Bordeaux), Evry SCHATZMAN, Josée SERT (EAAE), Françoise SUAGHER (Besançon), Daniel TOUSSAINT (Reims), Victor TRYÖEN, Michel VIGNAND (La Réunion), Catherine VIGNON (Paris), Denise WACHEUX (Lille), Gilbert WALUSINSKI.

Martine Bobin. ■

Si votre abonnement se termine avec le numéro 84, pensez à vous réabonner pour 1999 et 2000 en utilisant l'encart et l'enveloppe ci-joints.



# Un disque proto-planétaire en rotation

Lucette Bottinelli

Un très petit disque protoplanétaire en rotation autour d'une étoile jeune vient d'être détecté par les radioastronomes en utilisant l'interféromètre VLA (Very Large Array) ; c'est la première fois que l'on met en évidence une telle rotation dans un disque protoplanétaire dont la dimension est analogue à la dimension de l'orbite de Neptune autour du Soleil.

## La détection de compagnons de faible masse

Depuis 1995, plusieurs dizaines de compagnons de masse comparable à celle des planètes du système solaire ont été découverts en orbite autour d'étoiles analogues au Soleil. Il a déjà été question de la détection directe ou indirecte de ces compagnons de très faible masse dans les Cahiers Clairaut ("A la recherche de planètes extrasolaires", n° 72, hiver 1995, p. 36).

Un des plus récents résultats de ce type de recherche vient d'être obtenu à La Silla (Observatoire de l'ESO : European Southern Observatory) : un suivi régulier pendant plusieurs mois a été conduit avec un nouveau télescope de 1,2 m de diamètre (appelé "télescope Léonard Euler" en l'honneur du célèbre mathématicien suisse) construit à l'Observatoire de Genève et équipé d'un spectrographe de très haute précision (développé en collaboration avec l'Observatoire de Haute-Provence).

La nouvelle planète extrasolaire découverte est en orbite autour de l'étoile naine Gliese 86, située à une distance de seulement 35 années de lumière ; la planète a une période de 15,83 jours, une masse minimum de 4,9 fois la masse de Jupiter et a une orbite presque circulaire de rayon égal à 0,11 UA (1UA représente la distance moyenne Terre-Soleil soit 150 millions de km). A noter que ce rayon est 3,5 fois plus petit que la distance moyenne Mercure - Soleil : il s'agit donc d'un système

planétaire très rapproché.

Une information détaillée concernant Gliese 86 et la nouvelle planète, accompagnée de photographies, est disponible à l'adresse internet suivante :

<http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1998/pr-18-98.html>.

Par ailleurs, on trouvera une information exhaustive sur la recherche des planètes extrasolaires en se connectant sur le serveur de l'Observatoire de Paris à l'adresse internet suivante :

<http://www.obspm.fr/planets>

## Les disques circumstellaires et protoplanétaires

Alors que les planètes extrasolaires n'ont été découvertes que très récemment, les astronomes avaient depuis des décennies des indices observationnels montrant que les systèmes planétaires sont assez communs dans l'univers. Il s'agit en particulier des observations détaillées des zones de formation d'étoiles au sein des grands nuages moléculaires et des nuages interstellaires denses où le gaz et les poussières sont décelables via leur rayonnement dans l'infrarouge et dans le domaine radio du millimétrique et du centimétrique ; en effet ces rayonnements ne sont pas affectés par l'absorption interstellaire au contraire du rayonnement dans le domaine du visible, qui lui est totalement absorbé dans les régions interstellaires les plus denses, là où se forment les étoiles.

Citons par exemple, les cartographies réalisées aux longueurs d'onde de 1,3 mm et de 2,6 mm associées à la molécule CO, celles montrant l'existence de puissantes sources maser OH, H<sub>2</sub>O, très compactes (dimension de l'ordre de 5-10 UA) associées à des sources infrarouges ; le pompage du maser (pour "Microwave Amplification by Stimulated Emission Radiation") dans ces sources est réalisé par les photons infrarouges émis par les poussières froides du milieu interstellaire environnant.

Ces cartographies détaillées ont montré que le voisinage des objets stellaires jeunes (désignés en anglais par "YSO" pour "Young Stellar Objects") est caractérisé par la présence de jets de matière et d'écoulements moléculaires bipolaires (c'est-à-dire dirigés dans deux directions opposées) à grande vitesse (de 30 à 100 km s<sup>-1</sup>).

L'interprétation de ces phénomènes implique qu'au cours de la contraction gravitationnelle des nuages interstellaires denses en rotation, il se constitue un disque de matière autour de la protoétoile ; ce disque est perpendiculaire à l'axe de rotation du système et les écoulements moléculaires à grande vitesse se font dans la direction de l'axe de rotation. A cette phase initiale de formation d'une protoétoile entourée de son disque circumstellaire succède, lorsque l'étoile est constituée (elle produit alors son énergie par fusion thermonucléaire de protons en noyaux d'hélium), la formation des planètes à partir des débris laissés en orbite dans le disque autour de l'étoile nouvellement formée.

La détection des différentes composantes ("disque-YSO-écoulement") d'un système protostellaire est essentiellement accessible dans le domaine radio et le Very Large Array (VLA) est particulièrement bien adapté pour ces études. A noter cependant que dans un petit nombre de cas les observations dans le visible et le proche infrarouge ont révélé la présence d'un disque circumstellaire avec un diamètre de quelques centaines d'UA autour de jeunes étoiles ; le cas le plus convaincant est celui du disque de poussières entourant l'étoile  $\beta$  Pictoris.

### Le Very Large Array

Cet interféromètre radio dit à super-synthèse d'ouverture est installé depuis 1981 dans le Nouveau-Mexique ; il est constitué de 27 antennes de 25 m de diamètre réparties sur trois bases de 21 km de longueur, disposées en Y. Sa sensibilité est équivalente à celle d'un télescope de 130 m de diamètre et son pouvoir séparateur optimal est équivalent à celui d'un télescope de 36 km de diamètre ; il peut observer le rayonnement radio dont la longueur d'onde est au moins de 1,3 cm.

Ces caractéristiques en font un instrument capable d'identifier les composantes individuelles d'un système stellaire en formation comme décrit précédemment. Pour résoudre des disques dont la dimension typique attendue est de l'ordre de 100 UA, il faut disposer d'une résolution angulaire de 0,2" pour un système situé à une distance typique (comme la distance d'Orion) de 500 parsecs (1 parsec = 3,26 années de lumière = 3,09 x 10<sup>16</sup> m). Par ailleurs, le maximum de l'émission thermique du disque constitué de gaz et de poussières à une température de 100 K environ, se produit dans l'infrarouge à 29  $\mu$ m alors que celle du gaz ionisé (à une température de 10<sup>4</sup> K) constituant les jets, se produit vers 0,29  $\mu$ m, soit à la limite de l'UV et du visible ; cela implique que l'émission aux longueurs d'onde centimétriques pour lesquelles le milieu ambiant est transparent sera très faible (de l'ordre de 1 mJy ou moins ; 1 mJy = 10<sup>-29</sup> W m<sup>-2</sup> Hz<sup>-1</sup>).

### Les observations de NGC 2071

Les résultats récemment obtenus avec le VLA concernent la région centrale moléculaire de NGC 2071 située à une distance de 390 parsecs, dans la direction d'Orion. Ce complexe est une région de formation d'étoiles bien connue avec les caractéristiques typiques suivantes : écoulement moléculaire bipolaire observé en CO, SO, SiO et HCO<sup>+</sup> ; molécule NH<sub>3</sub> répartie dans une direction perpendiculaire à l'axe de l'écoulement bipolaire ; sources multiples d'émission radio et infrarouge et d'émission maser H<sub>2</sub>O.

NGC 2071 a été observée au VLA avec la configuration optimale (résolution spatiale de 0,09"), simultanément en rayonnement continu à  $\lambda = 1,3$  cm et dans la raie maser de H<sub>2</sub>O (fréquence au repos = 22 235.080 MHz soit  $\lambda = 1,35$  cm) avec une durée d'intégration de 5h. La cartographie réalisée montre une émission radio continue localisée dans deux sources séparées de 5", chacune étant en coincidence avec des sources d'émission infrarouge déjà connues (IRS 1 et IRS3) ; des sources compactes d'émission maser H<sub>2</sub>O se superposent à cette émission radio continue : 22 masers dans une région d'extension 0,7" autour de IRS1 et 12 masers dans une région d'extension 0,1" autour de IRS 3. Le résultat remarquable est que les masers de IRS 3 se répartissent selon une bande étroite dont l'extension (0,1") correspond à 40 UA et qui est centrée sur le jet radio et perpendiculaire à la direction de celui-ci.

De plus, il y a une variation systématique de la vitesse des sources maser le long de cette bande : d'une part, la vitesse moyenne de ces sources maser est en accord avec la vitesse moyenne du nuage moléculaire et d'autre part, il y a une variation continue de 14 km s<sup>-1</sup> sur une longueur de 40 UA d'un bord à l'autre de cette bande. La masse centrale M qui correspondrait à l'équilibre gravitationnel à la distance R = 20 UA avec une vitesse circulaire V = 7 km s<sup>-1</sup> est donnée par  $M = V^2R/G$  où G désigne la constante de la gravitation universelle et vaut 2,2 x 10<sup>30</sup> kg soit pratiquement, une masse solaire ; cette estimation est en accord avec d'autres arguments identifiant IRS 3 à une étoile de faible masse avant son arrivée sur la série principale.

La conclusion est que les sources maser H<sub>2</sub>O manifestent la présence d'un disque protoplanétaire en rotation autour d'une étoile en formation de faible masse, avec un rayon qui vaut 20 UA (soit les 2/3 de la distance moyenne de Neptune au Soleil). C'est la première fois que l'on met ainsi en évidence, un disque protoplanétaire aussi petit et avec une mesure directe de sa rotation. Ce résultat donne accès à un laboratoire idéal pour explorer les mécanismes de la formation des planètes de type solaire. ■

**Transparents animés  
pour rétroprojecteur**

(50F-55F)

**T1** Le TransSoLuTe

(phases de la lune et éclipses)

**T2** Les fuseaux horaires

**Filtres colorés**

**FCR**

Six feuilles de filtres colorés

et une feuille de réseaux

70F-75F (abonnés : 65F)

- 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 30F-35F)
- D7** Taches solaires et rotation du Soleil
- D8** Comètes

**DIAPPOSITIVES**

Série de 20 vues plus un livret de commentaires  
60-65F (abonnés : 50-55F)

# Publications du **CLEA**

Pour chaque publication,  
le deuxième prix comprend  
la publication et ses frais d'expédition.



**Chèques à l'ordre du CLEA**

## Les fiches d'activité pédagogiques du CLEA

- HS1** L'astronomie à l'école élémentaire
- HS2** La Lune niveau collège 1
- HS3** Le temps, les constellations, niveau lycée
- HS4** Astronomie en quatrième  
Chaque HS 60F-68F (abonnés : 40F-48F)
- HS5** Gravitation et lumière, niveau terminale  
75F-83F (abonnés : 65F-73F)
- HS6** L'âge de la Nébuleuse du Crabe  
avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies  
niveau lycée  
100F-110F (abonnés : 90F-100F)
- HS7** Étude du spectre du Soleil  
50F-58F (abonnés : 42F-50F)

Numéros hors série des CAHIERS CLAIRAUT  
réalisés par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA

## Cours polycopiés d'astrophysique

(M3.C4 de l'université  
Paris XI-Orsay)

- CI**  
Astrophysique générale
  - CII**  
Mécanismes de rayonnement  
en astrophysique
  - CIII**  
États dilués de la matière :  
le milieu interstellaire
  - CIV**  
La structure interne des étoiles
  - CV**  
Relativité et cosmologie
  - CS**  
Astrophysique solaire : le Soleil
- Chaque fascicule : 30F-35F

# CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 1998

Cotisation simple au CLEA pour 1998	50 F
Abonnement simple aux <b>CAHIERS CLAIRAUT</b> n° 81 à 84	140F

Abonnement aux <b>CAHIERS CLAIRAUT</b> ET cotisation au CLEA pour 1998	190F
---	------

Contribution de soutien au CLEA (par an)	50F
Le numéro des Cahiers Clairaut (port compris)	45F

*Possibilité de cotiser ou de s'abonner pour deux ans en doublants les tarifs précédents*

## COLLECTIONS DES **CAHIERS CLAIRAUT**

C1 Collection complète du n° 1 au 80 (1 200F - 1 300F)

**C88. C89.** Collections 1988 ou 1989 (chaque 80F - 90F)

**C90 à C97** (chaque 90F - 100F)

NB : Comme toutes les publications, le deuxième prix est celui qui correspond au tarif port compris.

Adresser inscriptions,  
abonnements ou commandes à

Chèque à l'ordre du CLEA

**CLEA**

Laboratoire d'Astronomie Bât. 470  
Université Paris Sud  
91405 ORSAY Cedex

## Publications...

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

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

### 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 (75F)

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

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

dépot légal 1<sup>er</sup> trimestre 1979  
numéro d'inscription CPPAP 61600  
Prix au numéro : 40F