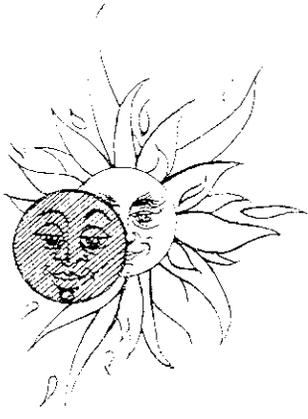


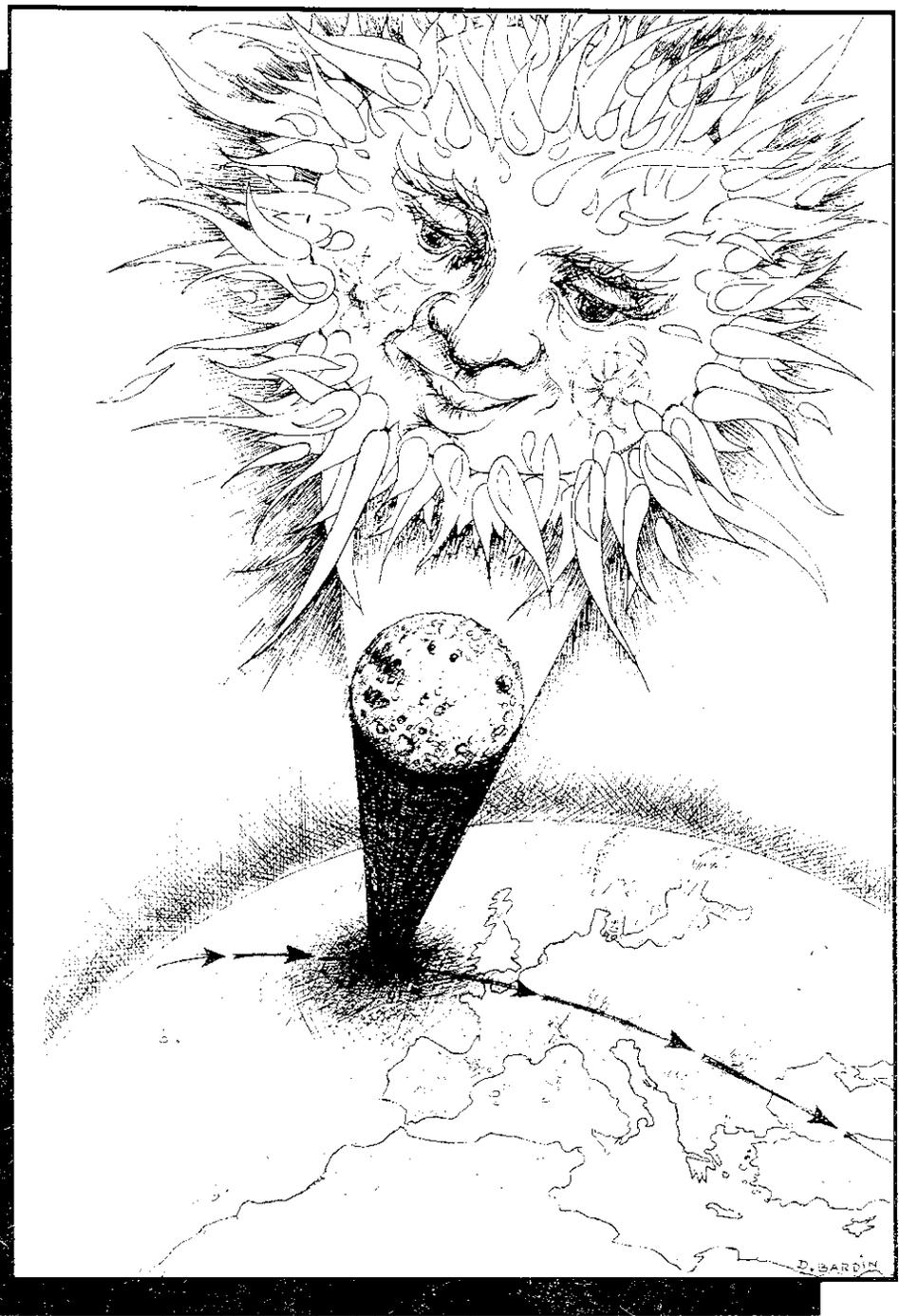
G. Patruel



bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lect
pour
et se
His
Re
d'o
Ar
for
Rè
déb
Inf
élève
Vie
Tex
exerc
Articles
Les p



numéro 85 - PRINTEMPS 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 MAF-PEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (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.



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 9'405 Orsay cedex
Tel : 0' 69 15 77 66 ; Fax : 0' 69 15 63 80
Adresse électronique : moree.presse@cf.cso.u-psud.fr

PUBLICATIONS DU CLEA pages C et D

Bureau du CLEA pour 1999

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

ÉDITORIAL

En cette période de changements pour l'Education Nationale, le CLEA persévère dans l'effort d'une pédagogie active en espérant que les plages de liberté dont on dispose au lycée continueront à exister.

La revalorisation de l'enseignement des SVT s'accompagne de la suppression de l'option Sciences Expérimentales en première scientifique. Les nouveaux Travaux Personnels Encadrés en première et terminale permettront-ils un réel travail interdisciplinaire dans lequel les thèmes astronomiques auront leur place ? L'horaire de math continue de s'éroder dans toutes les sections. Les terminales littéraires n'auront plus d'enseignement scientifique...

Chacun d'entre nous, au CLEA, dans son association de spécialistes ou dans son syndicat milite pour un enseignement de qualité pour tous, pour une culture scientifique pour tous. Soyons donc particulièrement vigilants et actifs.

Nous espérons ouvrir dans le prochain numéro la rubrique "Questions-Réponses" qui devrait permettre de retrouver un échange entre les lecteurs. Nous avons reçu quelques contributions mais en souhaitons davantage. Peut-être pensez-vous que la nouvelle organisation des Cahiers ne vous permet plus d'avoir un interlocuteur particulier : vous pouvez adresser votre courrier à Gilbert Walusinski, comme auparavant, ou à un membre particulier de l'équipe de rédaction. Nous vous répondrons et publierons des passages de vos lettres.

Ce numéro consacre plusieurs articles à "l'éclipse" pour vous aider à la préparer avec vos élèves. Merci à Pierre Causeret, à Daniel Toussaint et à l'équipe de l'Association Andromède.

Michaël Friedjung nous dit tout ce qu'il faut savoir sur les novae. Jean-Luc Fouquet nous présente le travail approfondi qu'il a fait sur les conceptions initiales des élèves et Lucienne Gouguenheim rappelle comment les outils pédagogiques élaborés par le CLEA permettent de remédier aux idées erronées. Jacques Vialle nous fait partager ses idées sur l'enseignement de l'histoire des sciences. Nous publions le troisième et dernier épisode de l'histoire de la vitesse de la lumière, écrit par Robert Garnier et illustré par Georges Paturol.

Enfin, Gilbert nous parle de notre ami Roger Gouguenheim, récemment disparu, que beaucoup d'entre nous ont rencontré et apprécié lors d'AG ou d'Universités d'été.

La Rédaction



les Cahiers Clairaut

Printemps 1999 n°85



Article de fond

La fascination
des novae

p. 2



Avec nos élèves

L'ombre qui viendra
de l'Ouest
(niveau 3^e et plus)

p. 7

Un travail sur les conceptions initiales
(tous niveaux)

p. 10

L'éclipsolabe
(collège et lycée)

p. 16

Observer le Soleil
et le photographe
(tous niveaux)

p. 18



Réflexions et débats

Enseigner l'histoire
des sciences...

Où mais comment ?

p. 23

Remue-méninges

Grandeur d'une éclipse

p. 27



Histoire

L'histoire de la vitesse
de la lumière

p. 28



Lectures pour la Marquise

p. 34



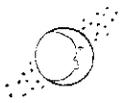
Vie associative

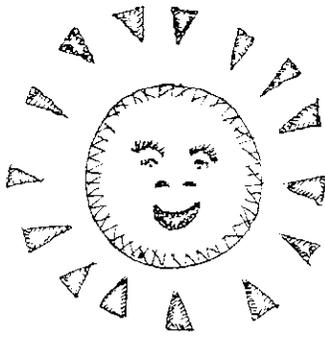
p. 38



Les potins de la Voie lactée

p. 39





La fascination des novae

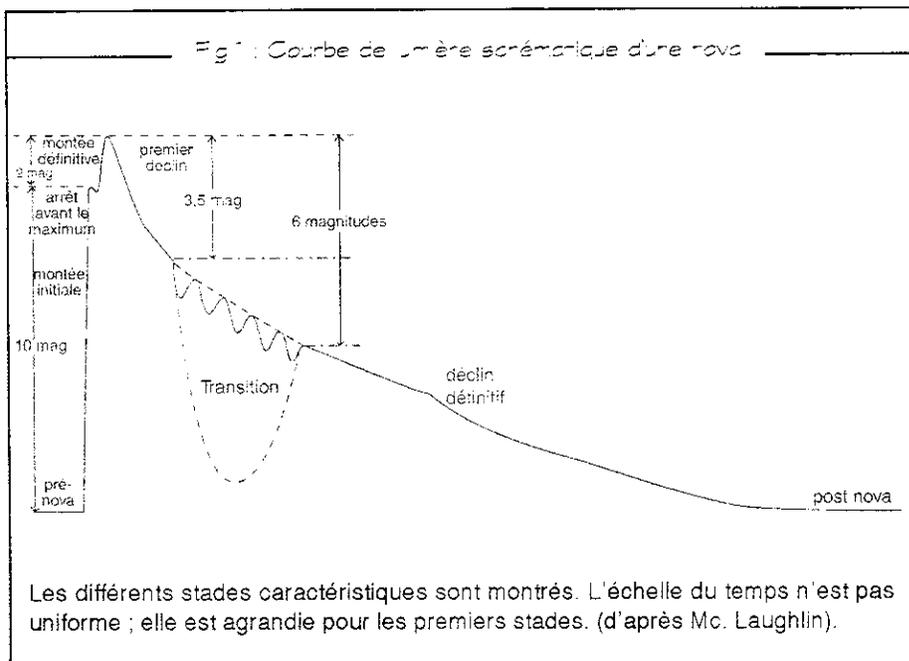
Michael Friedjung, I.A.P., C.N.R.S.

ARTICLE DE FOND

De temps en temps, l'éclat visuel d'une étoile assez faible augmente pendant quelques heures d'un facteur de l'ordre de 10 000 (10 magnitudes) ; après avoir augmenté un peu plus, l'éclat passe par un maximum, avant de diminuer beaucoup plus lentement vers un éclat proche de celui d'avant l'éruption. Il s'agit d'une nova. Elle n'est pas nouvelle (contrairement à ce que son nom indique) mais elle pouvait paraître nouvelle jadis quand les observateurs n'étaient pas en mesure d'observer les étoiles faibles.

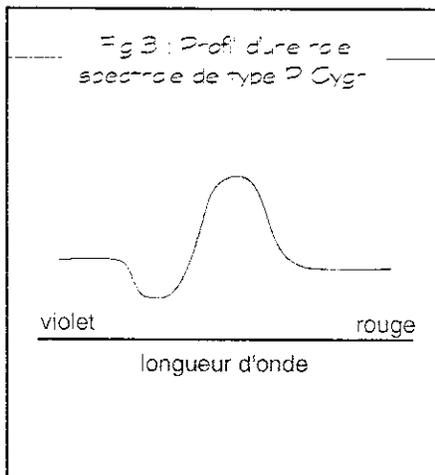
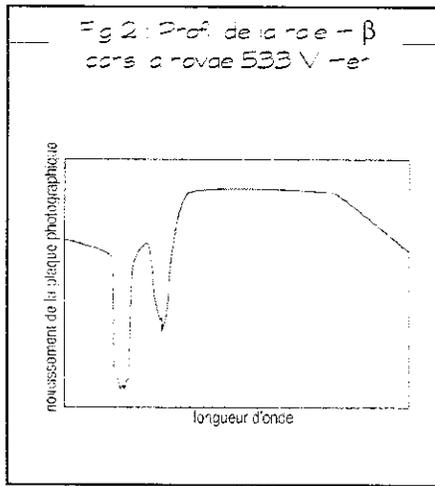
Introduction.

Pendant une éruption, l'éclat d'une nova passe par plusieurs étapes, qui sont montrées d'une façon très schématisique dans la fig.1, d'après Mac Laughlin. Les novae parcourent ces étapes plus ou moins vite ; une nova "rapide" le fait en peu de temps, tandis qu'une nova "lente" a besoin de beaucoup plus de temps pour les parcourir. Des études récentes de la répartition des novae indiquent que dans notre galaxie les novae rapides sont plus concentrées que les lentes dans le plan de cette galaxie.



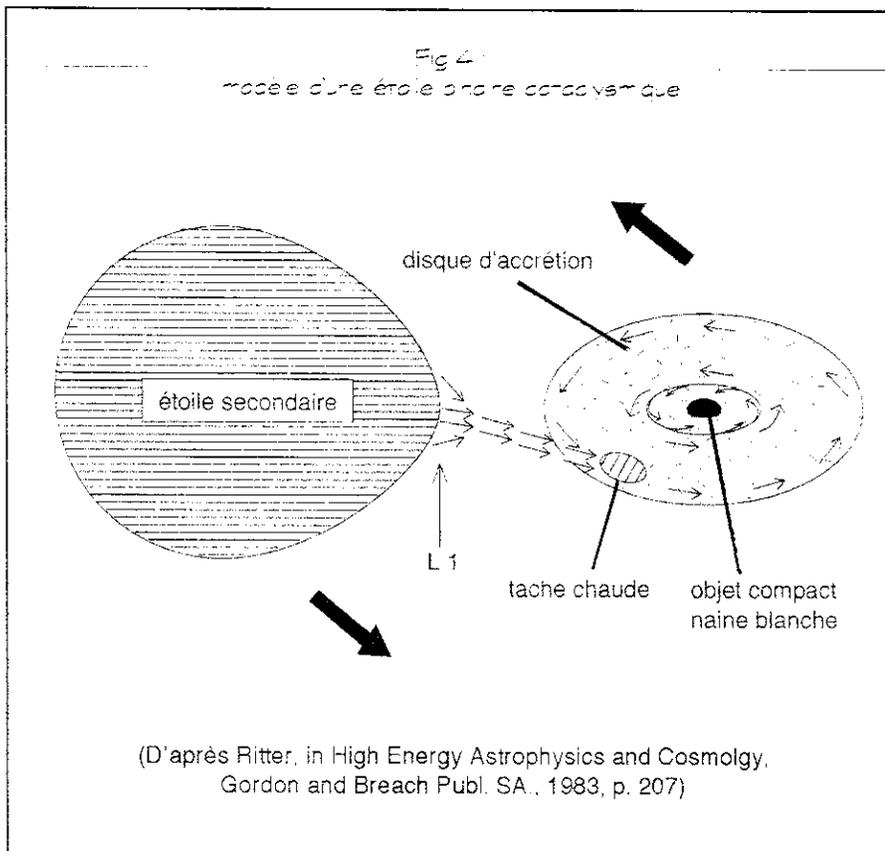
D'autre part, l'examen de la variation avec le temps des spectres d'une nova après le début d'une éruption indique la présence de plusieurs couches en expansion, qui s'éloignent à grande vitesse d'un objet central. On peut tirer cette conclusion à partir de l'analyse des profils complexes des raies spectrales qui contiennent des composantes en absorption et en émission (cf. fig. 2). Un tel profil peut-être compris comme une superposition de plusieurs profils de type "P Cygni" (fig. 3).

Un profil de ce type est produit par une couche sphérique en expansion autour d'une "photosphère" qui émet un spectre continu. Chaque région de la couche émet et absorbe dans une raie spectrale qui est déplacée à cause de l'effet Doppler¹. Les émissions dans cette raie par toutes les régions de la couche, lesquelles ont des déplacements donc des vitesses différents, provoquent un élargissement Doppler de la raie. D'autre part, les parties des couches surmontant la photosphère provoquent une raie d'absorption ; mais cette dernière est déplacée par effet Doppler vers des longueurs d'onde plus courtes que la longueur d'onde naturelle car cette couche s'approche de l'observateur. C'est pour cette raison qu'une composante de la raie en absorption paraît déplacée vers le bleu et du côté bleu de l'émission. L'effet combiné de l'émission et de l'absorption d'une raie produite par une couche sphérique qui a une certaine vitesse d'expansion est un profil de type P Cygni. Quand il y a occurrence de plusieurs profils P Cygni, on peut donc supposer que ce profil global est produit par des couches différentes ayant des vitesses d'expansion différentes.



Pendant le développement du spectre d'une nova après l'éruption, les composantes en absorption des raies disparaissent et le spectre commence à ressembler à celui d'une nébuleuse. Longtemps après cette éruption on peut, si la nova n'est pas trop éloignée, voir une petite nébuleuse en expansion, dont on suppose qu'elle a été éjectée à cause de cette éruption. La nébuleuse a souvent une structure complexe avec des calottes polaires et des anneaux. Elle faiblit avec le temps ; ce qui reste est un objet central.

Tous les spécialistes pensent que l'objet central est une étoile binaire, de la classe des "binaires cataclysmiques". Une binaire de cette classe est formée de deux étoiles en interaction gravitationnelle, se mouvant l'une autour de l'autre ; l'une des deux composantes est une étoile assez froide, qui a normalement les propriétés d'une étoile de la série principale ou des propriétés semblables à celles d'une telle étoile, l'autre composante est une naine blanche.



La première de ces deux étoiles est un peu trop grande pour ne pas perdre, au profit de son compagnon, la masse située près de sa surface ; ce phénomène est dû à l'attraction gravitationnelle de ce compagnon et à la force centrifuge produite par le mouvement orbital. Dans cette situation, la masse fuit par le point intérieur de Lagrange. Cette masse perdue doit encore perdre beaucoup de son moment cinétique avant d'être capturée, c'est à dire "accrétée" par le compagnon. Une telle prise peut se produire si la masse perdue tombe dans un "disque d'accrétion" autour de la naine blanche, dont la viscosité transporte le moment cinétique vers l'extérieur (cf. fig. 4). Il y a beaucoup d'indications de la présence de tels disques pour les binaires cataclysmiques si la naine blanche n'a pas un champ magnétique qui désagrège le disque ou au moins les régions intérieures du disque.

Plusieurs autres sortes d'objets sont classées binaires cataclysmiques. Par exemple, les "novae naines" ont de temps en temps des éruptions de quelques magnitudes, que les spécialistes expliquent par des instabilités du disque d'accrétion. La durée entre deux de ces éruptions successives est typiquement de l'ordre de quelques semaines ou quelques mois.

Il y a d'autres binaires cataclysmiques pour lesquelles on n'observe pas d'éruptions semblables à celles des novae naines ; ce sont peut-être, dans certains cas, les objets centraux des novae longtemps après leur éruption.

Les spécialistes pensent qu'une éruption violente de nova est due à une explosion thermonucléaire de l'hydrogène accrété par la naine blanche. Il y a eu beaucoup de travaux, depuis les années 70, sur les mécanismes de ce genre d'explosion qui doit se produire selon les théories actuelles. On prédit que la masse éjectée lors d'une éruption de nova est de l'ordre de celle accrétée auparavant (elle peut d'ailleurs être plus grande) ; après une telle éruption, l'accrétion doit reprendre et déboucher sur une autre éruption après une durée d'au moins plusieurs millénaires.

Pour certaines novae, dites "novae récurrentes", cette durée n'est que de l'ordre de quelques décennies ; les propriétés de ces objets ou du moins de certains d'entre eux sont assez différentes de celles des novae "classiques".

Nous devons néanmoins souligner que beaucoup des aspects "détaillés" des novae sont encore très mal compris, malgré l'accord des spécialistes sur ce qui a été exposé jusqu'ici dans cette introduction. Les spécialistes se battent entre eux sur ces aspects, tandis que souvent les théoriciens ne tiennent pas compte des observations "rebelles" difficiles à expliquer. Nous allons maintenant nous occuper de ces détails.

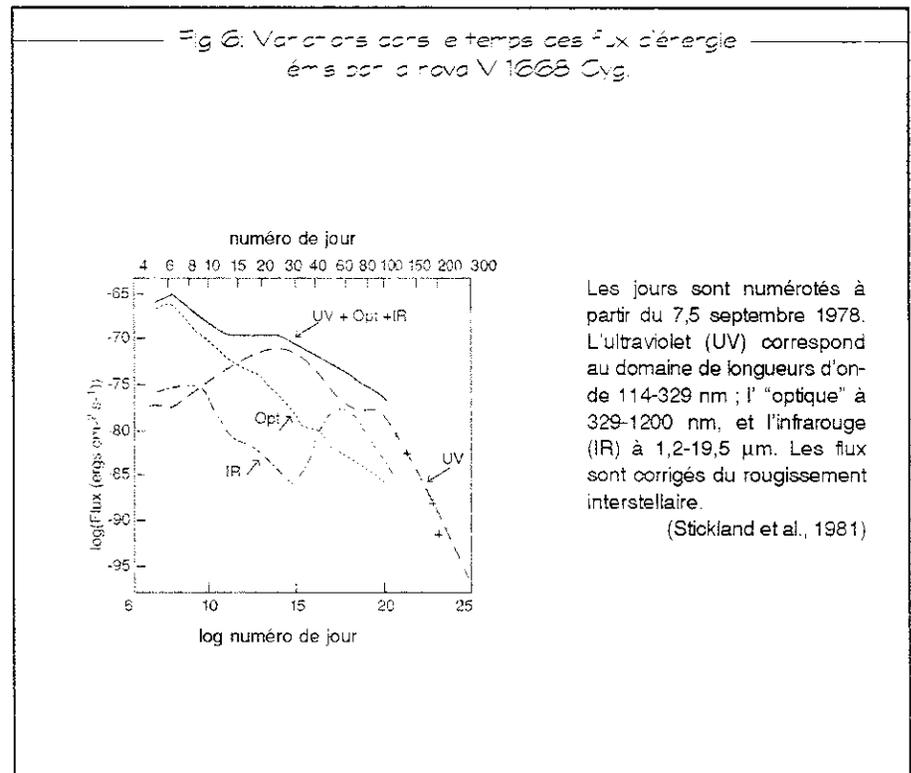
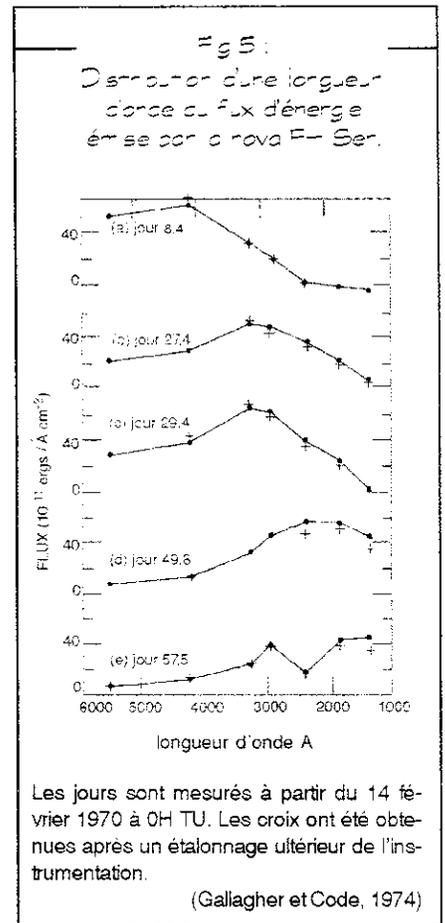
Ce que l'on peut déduire des observations d'une éruption.

Aujourd'hui on observe le rayonnement électromagnétique des novae du domaine radio jusqu'au domaine des rayons X et on espère d'ailleurs pouvoir aussi observer leur rayonnement γ . C'est de cette façon que l'on peut com-

prendre nettement mieux les processus physiques que lorsque les astronomes n'avaient à leur disposition que des observations dans le domaine optique.

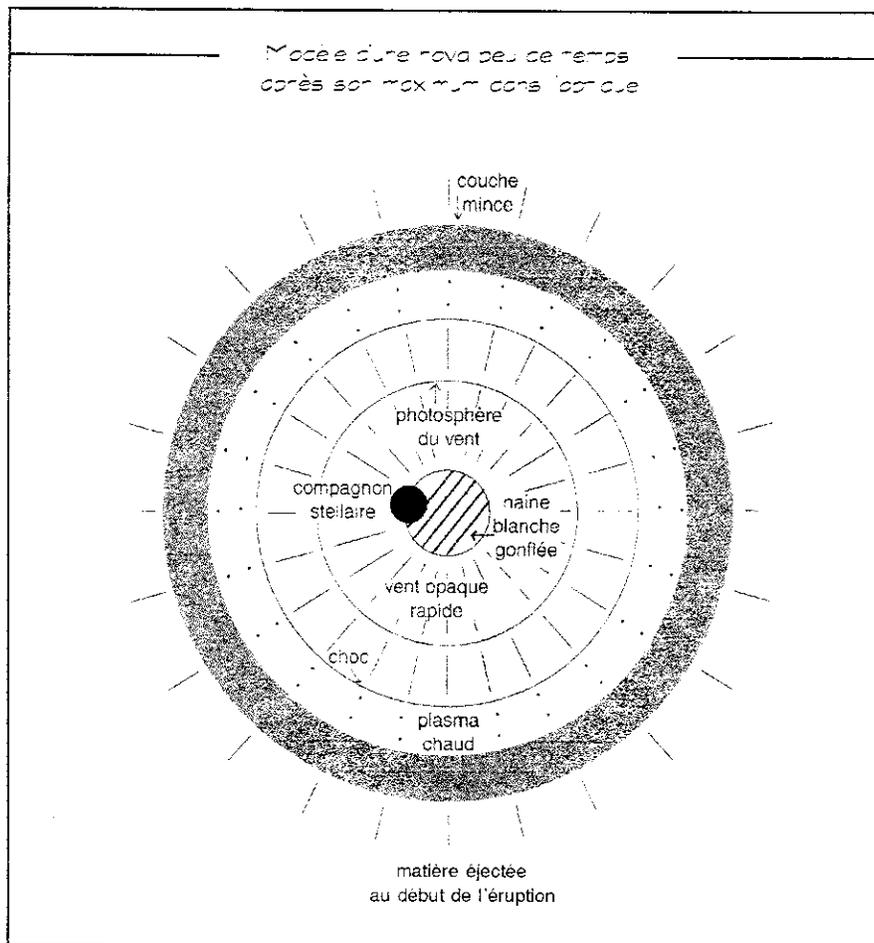
On a ainsi découvert que, après le maximum optique², la luminosité totale diminue beaucoup plus lentement que la luminosité optique seule. Pendant cette évolution la plus grande partie du rayonnement est émise à des longueurs d'onde de plus en plus courtes ; la longueur d'onde de l'émission maximum se déplace du domaine optique à l'ultra-violet puis au domaine des rayons X mous.

La fig. 5 montre ce déplacement observé pour la nova FH Serpentis (1970) tandis que la fig. 6 montre la variation avec le temps des flux de longueur d'onde différentes de la nova V1668 Cyg (1978). L'émission X n'a pas été mesurée pour celle-ci ; si on avait pu en tenir compte dans le calcul du flux total, on aurait vraisemblablement observé une diminution encore plus lente du flux total que celle montrée dans la figure.



Le flux total d'une nova paraît être proche, et peut-être à certaines époques au dessus, d'une limite appelée "limite d'Eddington". Quand la luminosité d'une étoile dépasse cette limite, sa pression de radiation est plus grande que l'effet de l'attraction universelle et l'étoile a tendance à se désagréger. Le flux total est moins grand plusieurs décennies après le début d'une éruption ; néanmoins, la nova GQ Mus (1983) est restée très lumineuse pendant presque une décennie, comme on a pu le constater à partir des observations faites en rayons X à partir du satellite ROSAT. On peut comprendre au moins de façon approximative ce qui se passe, à partir des observations de FH Ser, qui était bien observée à des longueurs d'onde différentes. La répartition spectrale d'énergie émise à des longueurs d'onde différentes était assez proche de celle d'un corps noir sur un grand domaine de longueur d'onde pendant quelques semaines après le maximum en lumière optique. Ce fait indique presque sûrement que le rayonnement observé était émis à partir d'une surface opaque et chaude, c'est à dire d'une "photosphère". Ce raisonnement est critiqué par certains collègues pour des raisons théoriques. Cette photosphère est devenue de plus en plus chaude après le maximum optique. D'autre part, quand on calcule la variation dans le temps du rayon de la photosphère de FH Ser à partir de la loi d'émission des corps noirs, on trouve que le rayon est devenu de plus en plus petit.

Si nous voulons savoir quelle est la nature de la photosphère d'une nova après le maximum optique, nous devons nous pencher sur les observations spectroscopiques. Comme nous l'avons vu, les profils des raies sont des superpositions des profils produits dans des couches en expansion qui ont des vitesses différentes (gardons quand même en mémoire que nous supposons en première approximation que cette dispersion des vitesses a une symétrie sphérique). D'autre part il est faux que toutes les raies spectrales soient émises et absorbées dans chacune des couches; les raies des atomes les plus ionisés sont normalement produites seulement par les couches dont la vitesse d'expansion est la plus élevée. Cela veut dire que les conditions physiques des différentes couches ne sont pas les mêmes.



Une étude détaillée montre que les régions observables ayant les vitesses d'expansion les plus grandes se trouvent dans les couches les plus profondes des régions transparentes, qui peuvent être observées autour de la photosphère. Ces couches qui ont une grande vitesse sont aussi près de cette photosphère opaque. Cela signifie que cette photosphère, contrairement à celle des étoiles plus "normales", se trouve dans un milieu en expansion rapide. Si on poursuit ce raisonnement jusqu'au bout, on en déduit que l'on peut être presque sûr que ce qui se passe est l'éjection continue d'un vent opaque.

Néanmoins tous les chercheurs dans ce domaine ne sont pas d'accord : certains pensent qu'on ne voit qu'un vent transparent au-dessus de la photosphère presque stationnaire d'une naine blanche gonflée, pendant certains des premiers stades du développement de la nova après son maximum optique. Leur point de vue est, à mon avis, difficile à défendre.

Avant le maximum optique, la situation semble être différente. Les observations de plusieurs novae font penser que pendant ce stade les couches ayant les vitesses les plus élevées sont les plus éloignées du centre de l'enveloppe éjectée. Un tel gradient de vitesses pourrait être dû à un choc, produit par une explosion au début de l'éruption. Les parties les plus intérieures de cette enveloppe semblent avoir des vitesses plus petites que celles du vent ; on peut s'attendre à ce qu'elles soient balayées par le vent. Le résultat devrait être la production d'une couche mince, qui contient vers la fin de ce processus, la plupart, ou du moins une forte proportion, de la masse totale éjectée et du plasma chaud. D'un point de vue observationnel, il y a des indications de la présence d'une telle couche mince, tandis que le choc entre le vent et la matière éjectée pourrait produire les émissions X dures des novae observées. Néanmoins, il est difficile d'expliquer la présence de toutes les "couches" qui sont indiquées par les profils des raies spectrales ; certaines pourraient être des nuages nés à la suite d'instabilités provoquées par des collisions entre masses de vitesses différentes dans l'enveloppe éjectée.

Un autre aspect des éruptions est ce que semble être la condensation de poussières dans la masse éjectée de certaines novae. La présence de ces poussières est indiquée par des excès infrarouges, expliqués par l'absorption du rayonnement de courte longueur d'onde par les poussières et sa réémission dans l'infrarouge. L'apparition soudaine de cette absorption explique d'autre part la forme de certaines courbes de lumière des novae qui montrent des baisses soudaines de luminosité optique.

Quand le spectre devient semblable à celui d'une nébuleuse, on peut mesurer les abondances relatives des éléments dans la masse éjectée, surtout si on utilise à la fois des observations optiques et ultraviolettes. Ces abondances relatives ne sont pas les mêmes pour chaque nova ; elles sont souvent très différentes de celles du Soleil. Des surabondances modestes d'hélium sont observées tandis que l'on observe de grandes surabondances de carbone, d'azote et d'oxygène. Quelquefois, on observe des surabondances de néon et de magnésium, dont les atomes sont plus lourds. Bien que le fait que la condensation des poussières puisse enlever certains des éléments du plasma étudié par des méthodes spectroscopiques, la plupart des anomalies en abondance semble être caractéristique de toute la masse éjectée.

Les novae longtemps après l'éruption.

Les novae sont moins spectaculaires et peut-être plus faciles à comprendre longtemps après l'éruption mais certaines questions demeurent.

La lumière de la plupart des novae faiblit pendant des années ; la vitesse d'affaiblissement plusieurs décennies après l'éruption semble être plus grande, quand la période orbitale de l'étoile binaire est plus petite. Pendant ce stade, quelques novae ont de petites éruptions, qui sont peut-être semblables à celles des novae naines. D'autre part, une nova paraît être moins brillante quand le plan de l'orbite est peu incliné par rapport à la ligne de visée que si l'inclinaison de ce plan est grande.

Ceci peut-être expliqué par le fait que le disque d'accrétion (qui devrait émettre la plupart de la lumière du système binaire) paraît moins brillant

quand il est vu par la tranche que quand il est vu de face.

Il faut aussi mentionner que sa luminosité intégrée sur toutes les directions est plus grande que celles de novae naines aux stades où elles n'ont pas d'éruption. Si les novae continuent à faiblir après l'éruption il est possible qu'elles deviennent des novae naines. Selon certaines conceptions, elles pourraient devenir très faibles et difficiles à observer à un stade plus avancé. On ne sait pas clairement si les observations soutiennent ou non cette conception.

D'autres effets sont aussi présents. Une nova peut être aussi trop faible à cause de la désagrégation du disque d'accrétion par un fort champ magnétique. D'autre part, la luminosité de la vieille nova HR Del (1967) semble être trop élevée ; ce fait pourrait indiquer une forme "d'activité" de la naine blanche qui continue encore.

Modèles et théories des novae

Il n'est pas facile de faire un modèle qui tienne compte de toutes les observations de novae pendant leurs éruptions. On peut comprendre la nature du vent éjecté d'une façon continue dont la présence est indiquée par les observations s'il est accéléré par la pression de radiation. Ce vent semble être opaque et des estimations approximatives de la pression de radiation indiquent que la plupart de l'accélération se produit à de grandes profondeurs sous la photosphère, où il est très opaque. Un tel vent a des propriétés très différentes de celui d'une étoile chaude "normale" : pour une telle étoile, le vent, accéléré au-dessus de la photosphère, est transparent sauf pour le rayonnement dans certaines raies spectrales. On croit que les vents de ces étoiles "normales" sont accélérés par la pression de radiation dans ces raies. Les novae doivent avoir une luminosité proche de ou au-dessus de la limite d'Eddington, afin de pouvoir accélérer leurs vents denses. Ce genre de situation n'est pas facile à comprendre d'un point de vue physique. La valeur exacte de cette limite dépend de la quantité de rayonnement absorbé par unité de masse des couches de l'étoile et du vent. Des nouveaux calculs de collègues japonais, tenant compte de nou-

velles données sur l'absorption, indiquent que la luminosité d'une nova dépasse la limite d'Eddington seulement localement après le maximum optique, et que ce phénomène doit produire un vent qui est vraiment opaque. Cependant ces calculs japonais sont très critiqués ; il faudra les faire à l'avenir d'une façon plus rigoureuse.

Le fait que les novae continuent à faiblir plus vite longtemps après l'éruption quand la période orbitale est plus petite, pourrait être expliqué par un chauffage plus fort de la composante froide de la binaire par le rayonnement qui lui tombe dessus à la suite de l'explosion de la composante naine blanche (on peut voir, à partir de la troisième loi de Kepler que quand la période est plus courte la séparation des composantes est plus petite). Ces couches ainsi chauffées perdraient plus de masse au profit de la naine blanche et le disque d'accrétion serait plus lumineux. La composante froide d'une binaire de période courte devrait par la suite refroidir davantage à cause de cet effet ; ainsi donc la nova devrait faiblir davantage et plus vite.

Nous pouvons dire en conclusion que bien des aspects des novae sont mal compris. Beaucoup reste à faire, surtout si on veut comprendre les novae réelles et pas seulement certains modèles simplifiés, à partir desquels les théoriciens font souvent des calculs très compliqués.

Notes :

1 - L'effet Doppler produit une augmentation de la longueur d'onde observée de la lumière en provenance des régions qui s'éloignent de l'observateur, c'est à dire qu'une raie émise par une telle région est décalée vers le rouge. De même, la même raie émise par une région qui s'approche est vue décalée vers le bleu.

2 - Le qualificatif "optique" est utilisé ici pour caractériser le domaine visible du spectre. ■



L'ombre qui viendra de l'Ouest

Daniel Toussaint

Sur la jetée du port de Fécamp, la statue de la "femme du pêcheur", qui guette anxieusement le retour de son marin de mari, a vu tant de fois le Soleil et la Lune plonger dans la mer qu'elle ne s'intéresse plus à ces phénomènes astronomiques. Pourtant, le 11 août 1999, en voyant surgir du large l'ombre de la Lune qui foncera sur elle à près de 3 000 km/h, nul doute qu'elle devra être fort surprise ... Pourquoi l'ombre viendra-t-elle de l'Ouest alors que les astres se lèvent plutôt vers l'Est, et pourquoi viendra-t-elle si vite ?

Les éphémérides de la SAF permettent de prévoir avec précision les horaires de l'éclipse. L'ombre de la Lune abordera la France par la pointe du Cotentin (maximum à Cherbourg à 12h 17min 01s en heure légale d'été) avant de s'éloigner vers l'Allemagne (maximum à Strasbourg à 12h 31min 41s). Ces 2 villes situées un peu au sud de la ligne où l'éclipse sera maximale bénéficieront du phénomène pendant respectivement 1min 36s et 1min 28s.

C'est peut-être l'occasion de proposer quelques exercices d'actualité à nos élèves (les plus simples sont accessibles en 3^e, cependant, pour creuser les notions de repères, il est préférable d'attendre le lycée).

Calcul de la vitesse moyenne de l'ombre à l'aide des éphémérides et d'un atlas.

Sur divers atlas, la distance Cherbourg-Strasbourg estimée à vol d'oiseau est de 680 ± 10 km.

La durée de survol du centre de l'ombre entre ces deux villes est de
12h 31min 41s - 12h 17min 01s
= 14min 40s = 14,67min.

La vitesse moyenne de l'ombre entre ces deux villes est égale à la distance totale divisée par la durée soit :
en km/min : $680 / 14,67 = 46,35$
et en km/h : $46,35 \times 60 = 2780$

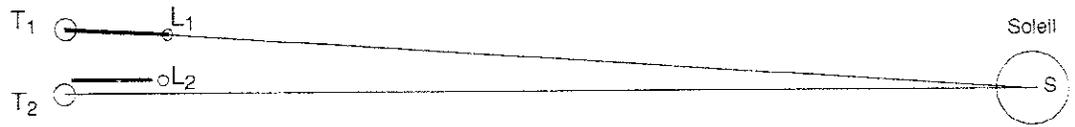
Critique des résultats

Les documents¹ SAF estiment la vitesse moyenne de l'ombre à 2850 km/h. La différence entre ces deux résultats peut être due à l'imprécision de l'échelle des atlas consultés. Mais elle est sans doute aussi liée à la définition de la vitesse moyenne : l'ombre avancerait à vitesse constante si la Terre était plate, mais elle va plus vite au début et à la fin de sa rencontre avec une sphère.

Si la vitesse moyenne a été calculée sur toute la longueur de l'éclipse, elle est supérieure à la vitesse moyenne au dessus de la France.

Les mouvements dans un repère héliocentrique :

Pour comprendre ce qui se passe, imaginons ce que "verrait" un observateur extra-terrestre situé au-dessus du pôle Nord du Soleil.



Le schéma n'est pas à l'échelle car les distances Terre-Soleil et Terre-Lune sont trop différentes et bien sûr, les cônes d'ombre sont invisibles.

Ce schéma permet de calculer la vitesse orbitale de la Terre qui effectue chaque tour d'orbite à 150 millions de km du Soleil en un an, tout en entraînant la Lune avec elle.

1 - Quand, à la Nouvelle Lune, la pointe de l'ombre de la Lune rencontre la Terre, une éclipse totale de Soleil se produit. Cette ombre a la forme d'un cône très allongé car le Soleil est beaucoup plus gros que la Lune.

2 - La Terre et la Lune circulent ensemble autour du Soleil, mais la Terre qui avance sur son orbite un peu plus vite que la Lune a dépassé l'ombre qui reste attachée à la Lune.

La vitesse orbitale de la Terre est donc égale au quotient de la circonférence (en km) par la durée (en h).

Vitesse orbitale = $2\pi R / t$ soit en km / h :

$$(2 \times \pi \times 150.10^6) / (365,25 \times 24)$$

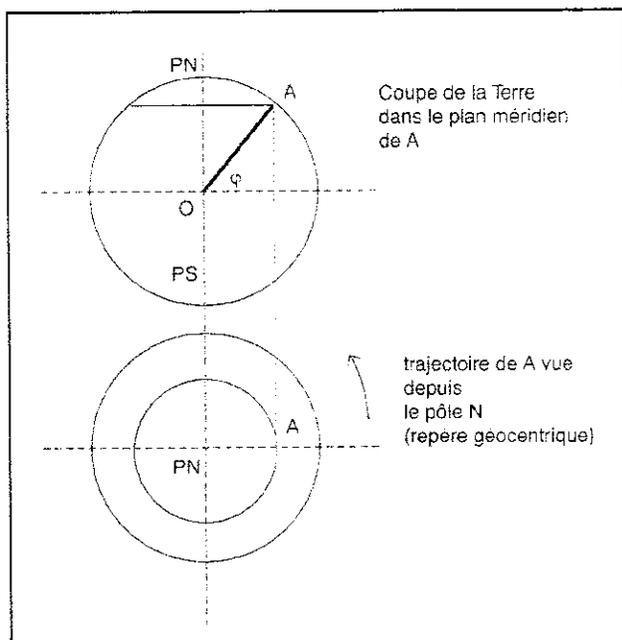
$$= 9,42.10^8 / 8,77.10^3 = 107\ 500.$$

soit : 29,9 km/s.

La vitesse orbitale de la Lune ne diffère de celle de la Terre que de quelques milliers de km/h en plus ou en moins selon la phase de la Lune : en période de Pleine Lune, la Lune avance plus vite que la Terre, tandis qu'en Nouvelle Lune, c'est l'inverse (la différence entre les deux vitesses orbitales fait l'objet de l'exercice suivant).

Les mouvements dans un repère géocentrique :

Si vous avez bien les pieds sur Terre, l'extra-terrestre qui vous renseigne est situé au-dessus du pôle Nord de la Terre et il repère les mouvements par rapport à la ligne Terre-Soleil. En effet, non seulement il "verrait" s'approcher le cône d'ombre de la Lune, mais en outre, il "verrait" la Terre tourner et la combinaison de ces deux mouvements rendra compte de ce qui se passe vraiment sur Terre.



1 - Vitesse du point A de latitude φ , due à la rotation de la Terre.

Durée d'un tour de A sur le parallèle de latitude φ :

24h 00min.

Circonférence de la Terre à l'équateur :

40 000 km (d'après la définition originelle du mètre).

Longueur du parallèle passant par A : sur les schémas ci-contre le rapport des rayons est égal à $\cos \varphi$. Les longueurs des cercles étant proportionnelles aux rayons, cela s'applique aussi aux cercles.

Donc la distance parcourue par A en un tour (A pourrait être situé entre Chalons et Metz à la latitude 49° sur le passage de l'ombre de la Lune) est en km :

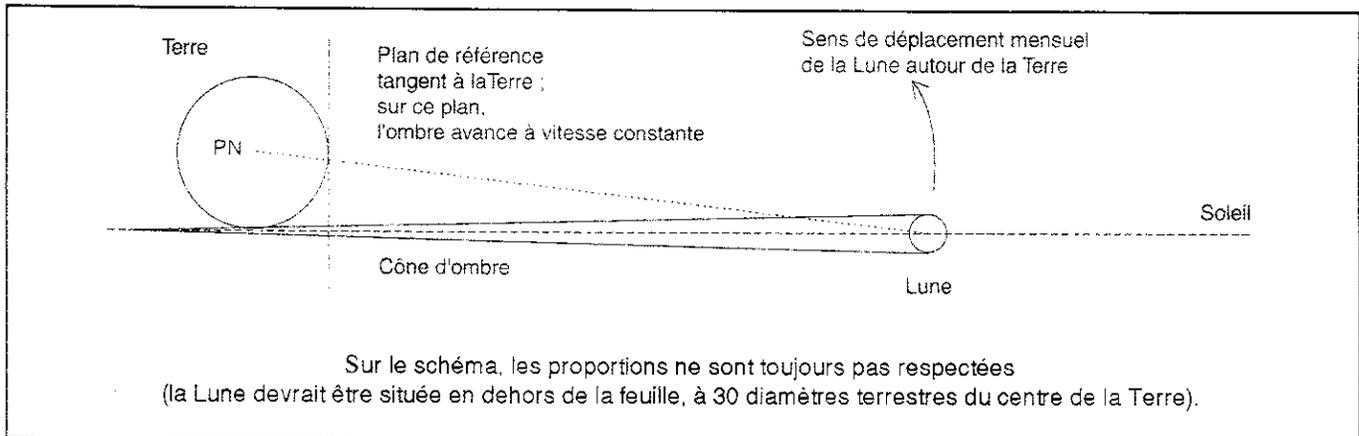
$$40\ 000 \times \cos \varphi = 40\ 000 \times \cos 49^\circ = 40\ 000 \times 0,656$$

soit 26 240 km.

La vitesse de A autour de la Terre (dans le sens positif défini par la flèche) est donc en km/h :

$$(40\ 000 \times \cos \varphi) / 24 \text{ soit } 1100 \text{ km/h.}$$

2 - Vitesse instantanée du cône d'ombre de la Lune.



Approximations :

Bien que la Lune décrive pratiquement un cercle autour de la Terre, on peut considérer que la durée de l'éclipse est assez courte pour que le déplacement de la Lune s'effectue à vitesse constante sur un segment de droite parallèle au plan de référence représenté en pointillés.

Si l'éclipse a lieu au voisinage de midi solaire (ce qui est le cas en France le 11 août 1999), l'intersection du cône d'ombre avec le plan de référence n'est pas très différente de la trace réelle du cône d'ombre sur la Terre (ou ombre portée de la Lune sur la Terre).

Données :

Rayon moyen de l'orbite lunaire : 384 400 km
 Durée d'un tour de Lune (comptée par rapport au rayon Soleil-Terre) : 29,54 jours terrestres.
 Vitesse de la Lune sur son orbite terrestre en km/h :
 $(2\pi \times 384\,400) / (29,54 \times 24)$ soit 3 400 km/h.

3 - Ce que voit l'observateur terrestre situé en A (entre Chalons et Metz) :

Evidemment, il ne se rend pas compte qu'il avance vers l'Est à la vitesse de 1 100 km/h mais l'ombre de la Lune qui avance dans le même sens que lui le rattrape à la vitesse relative de :

$$3\,400 \text{ km/h} - 1\,100 \text{ km/h} = 2\,300 \text{ km/h.}$$

Etude critique du résultat :

L'ordre de grandeur et le sens du déplacement sont corrects. Les résultats sont un peu sous estimés par rapport à la vitesse moyenne calculée entre Cherbourg et Strasbourg (2 780 km/h) et surtout par rapport à la vitesse moyenne proposée dans le document de la SAF (2 850 km/h).

La différence peut venir du fait que le maximum de l'éclipse n'a pas lieu à midi solaire, mais environ à 1 h 30 min plus tôt. Le point A doit encore se déplacer de $22,5^\circ$ (au rythme de 15° à l'heure pour atteindre le plan de référence).

Sur Terre, l'ombre avance à $3400 / \cos 22,5^\circ$ km/h soit 3700 km/h et rattrape le point A à la vitesse relative de $3700 \text{ km/h} - 1\,100 \text{ km/h} = 2\,600 \text{ km/h}$.

Pour s'approcher davantage de la valeur prévue par la SAF, il faudrait affiner le modèle, mais les complications apportées iraient à l'encontre de l'objectif visé qui est de rendre ce phénomène compréhensible pour un élève du secondaire.

Note :

1 - Les données des exercices sont extraites de la plaquette réalisée par la SAF à l'occasion de l'éclipse et du n°111 (janvier 1997) de la revue "l'Astronomie".



Un travail sur les conceptions initiales

Jean-Luc Fouquet

Cet article est destiné à poursuivre la réflexion sur les conceptions initiales des élèves, commencée dans le n°84 avec la description du travail effectué par notre collègue espagnol Bernat Martinez. Jean-Luc Fouquet a choisi comme mode d'expression le dessin et nous présente ici les premiers résultats de son enquête.

Ces dernières années, un petit détachement dans mon service de professeur de physique me permet de remplir le rôle officiel de conseiller scientifique à l'Astrolabe de La Rochelle. Cette "maison des Sciences et des Techniques" à gestion municipale, dont le rayonnement s'étend sur toute la région, apporte une aide précieuse dans ma mission auprès des enseignants, qui consiste essentiellement à initier ou conseiller les professeurs des écoles pour le montage de projets scientifiques à base d'astronomie ou intervenir dans les classes. Dans les premiers moments de ces rencontres, ces enfants de 5 à 12 ans posent une foule de questions et ont plein d'idées, parfois bizarres...

Cerner les représentations initiales des élèves à partir de dessins successifs permet souvent de bâtir une progression de séances, différenciées et variées, tenant compte au mieux des difficultés de chacun. Il faut aussi prêter une attention soutenue à l'élaboration du compte-rendu du projet, avec de grandes frises, des moulages, des albums très colorés pour les plus petits (6-8 ans) et des schémas explicatifs jusqu'aux dessins imaginaires pour les grands.

Des professeurs de collège, de lycée, de classe préparatoire, d'IUFM, ... rencontrés dans des réunions ou au cours de stages de formation, ont bien voulu participer à "ce jeu" : poser quatre questions d'astronomie à leurs élèves ou à leurs étudiants. J'ai reçu à ce jour près de 3500 dessins et je n'ai pas encore pu répondre à chacun, mais votre participation éventuel-le aujourd'hui serait tout à fait la bienvenue !

Bien sûr, ce travail n'est pas nouveau, mais reste pour moi séduisante et importante l'idée de devoir tenir compte des conceptions initiales des élèves dans différentes méthodes d'enseignement et de pouvoir, jusqu'à un certain point accepter certaines représentations fausses des phénomènes étudiés, puis graduellement en corriger les erreurs grâce à des discussions en groupe ou au cours d'observations.

Les tests sur les conceptions initiales des élèves

• Pourquoi un dessin ?

Ces dessins permettent à chaque élève de s'exprimer d'une manière plus libre et plus riche, en gommant quelques barrières : difficulté de raisonner avec des mots, faiblesse dans les matières faisant appel à la formalisation et à l'abstraction, différences entre classes dues à l'environnement socioculturel, etc...

Le dessin de l'un est facilement commenté par les autres, les confrontations d'idées sont facilitées ainsi que le suivi des conceptions exprimées suivant l'âge des élèves, de l'école primaire au lycée. Parfois un dessin "montre" mais n'explique pas, un autre calque avec des erreurs de lecture un schéma déjà aperçu, un autre encore porte la griffe d'un adulte... Souvent une évolution ou une autocorrection est possible au fur et à mesure que les notions sont abordées ou que de nouvelles observations surviennent.

- Les classements des faux concepts et leur évolution suivant l'âge.

Quatre sujets communs ont été proposés sous la même forme à des élèves de huit, dix, douze, quatorze, seize, dix-neuf et jusqu'à 25 ans ou à certains adultes (professeurs ou élèves instituteurs) : saisons, jour et nuit, éclipse de Lune, trajectoire de la Terre.

Parfois, dans certains établissements, des sujets voisins ont été ajoutés.

Un grand nombre de "copies" ont été recueillies permettant une étude en pourcentage des différentes conceptions exprimées.

Dans les pages suivantes on trouvera en plus d'un dessin choisi de chaque sujet une description des différents types de représentation et leur fréquence d'apparition.

- Quelques impressions exprimées par les adultes :

- impression de trop grande facilité des sujets proposés aux enfants.

- envie, dans l'exécution du dessin, d'utiliser des symboles (flèches, croissant de Lune, lettres, mots...).

- idée que dans les dessins d'élèves, erreurs et fausses conceptions doivent être "corrigées" rapidement par quelques phrases ou un schéma simplifié.

-surprise dans la découverte de "conceptions bizarres" exprimées par de grands élèves pourtant capables de raisonnements construits et abstraits ! ...

-parfois, au lycée, impression d'inutilité et de temps perdu (actions hors programme).

- Suivi et remédiation.

Dans chaque classe, quatre à six dessins du groupe sont repris en diapositives de même qu'une quinzaine de dessins les plus représentatifs dans les différentes classes d'âge, pour l'ensemble des sujets. Une séance de projection sert de support à une discussion et à un jeu de questions-réponses avec les élèves. Il ne s'agit pas, bien sûr, de corriger ou d'évaluer le travail de chacun, mais d'essayer d'analyser le pourquoi des différentes représentations proposées.

SUBSTITUER UN CONCEPT A UN AUTRE : AVEC QUELLES METHODES ET QUELS OUTILS PEDAGOGIQUES ?

Lucienne Gouguenheim

Il est indispensable à tout enseignant de savoir que ses élèves ont leurs propres schémas explicatifs des phénomènes qu'il veut leur faire étudier.

Il est bien connu qu'imposer une interprétation aboutit le plus souvent à ce que coexistent dans l'esprit de l'élève deux conceptions : la sienne et celle du maître. Le travail présenté ici illustre des exemples de concepts initiaux très communément répandus, portant sur des phénomènes astronomiques. Comment leur substituer l'explication correcte ?

Les travaux de recherche en ce domaine ont largement montré l'efficacité de la méthode qui consiste à conduire l'élève à s'approprier une interprétation à partir de sa propre expérience. En particulier, l'interprétation d'un phénomène d'observation nécessite que le phénomène ait été directement observé par l'élève.

Le CLEA s'efforce depuis longtemps d'ouvrir de telles pistes et d'élaborer des outils permettant cette appropriation. Nous citerons ici un exemple, celui des phases de la Lune, traité dans deux numéros hors-série des Cahiers Clairaut (HS1 : Astronomie à l'école élémentaire, HS2 : La Lune, niveau collège), dans les fiches CLEA-Belin (niveau Lycée), dans une série de diapositives (D2 : Les phases de la Lune) et au moyen d'un transparent animé pour le rétroprojecteur (T1).

Première étape : observer, décrire, dessiner, remplir un tableau... Des pistes sont proposées, avec un protocole expérimental précis ; les diapositives peuvent se substituer partiellement à l'observation, soit pour combler des trous dans une série d'observations, soit pour permettre d'étudier les détails du relief ou la forme du limbe et celle du terminateur....

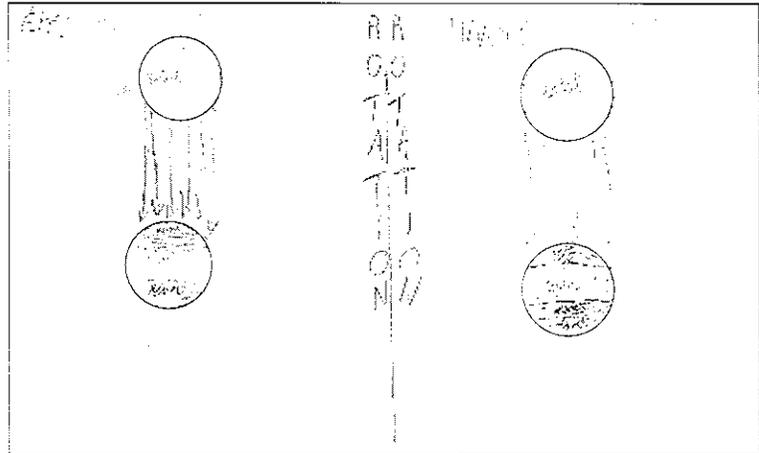
Seconde étape : interpréter. Diverses expériences sont proposées, qui utilisent des maquettes : boules mimant la Terre et la Lune, éclairées par un projecteur ; ou sur lesquelles une demi-sphère a été peinte en noir ; boule tenue dans une main tendue dans la direction de la Lune dont on observe la phase que l'on compare à celle de la Lune ; transparent animé....

Des travaux sur l'origine des saisons ont également été proposés : on pourra se reporter au numéro hors-série HS1, au transparent animé T3 ou à la série de diapositives D6.

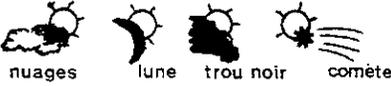
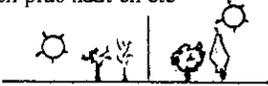
SAISONS

élève de 5^e

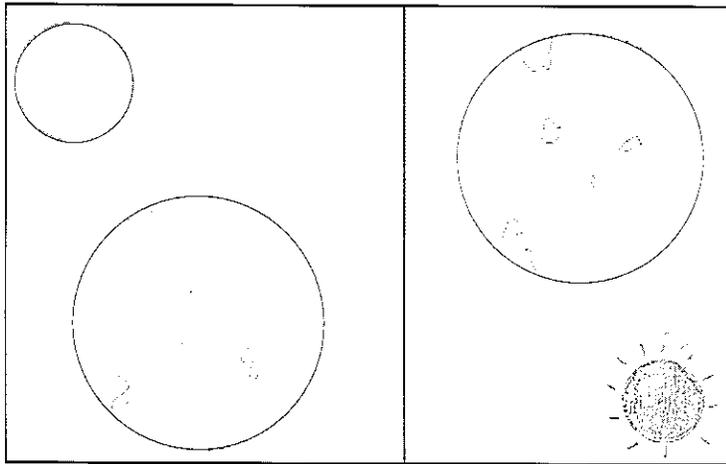
Généralement, il fait plus chaud en été qu'en hiver dans l'hémisphère nord : c'est le phénomène des saisons. A l'aide d'un crayon à papier et de crayons de couleur, sans écrire un mot, faire un dessin (ou plusieurs) qui explique(nt) ce phénomène.



dessin original d'élève

Conceptions initiales des élèves	CE2-CM1	CM2-6 ^e	5 ^e -4 ^e	3 ^e -2 ^e	1 ^o -TERM	Prépa	Licence - IUFM	Total
1. ROTATION ET REVOLUTION DE LA TERRE								
1a. Notion de densité d'énergie 			8	7	3	8	23	49
1b. Eté dans l'hémisphère coté Soleil 		2	3	4	21	9	21	60
1c. Trajectoire et axe dans le même plan 		1	5	6	2	1	3	18
1d. Trajectoire elliptique 		9	48	25	17	18	8	126
1e. Axe et plans non précisés			4	1			1	6
2. UN SEUL MOUVEMENT DE LA TERRE								
2a. Révolution sans rotation (hiver = nuit)	1		13	8	7		3	32
2b. Rotation sans révolution (hiver = nuit)		4	16	2	3	1		26
3. TERRE IMMOBILE								
3a. Le Soleil tourne autour de la Terre	1	3	10	3	2			19
3b. Le Soleil tourne et son éclat varie	1	5	14	1	2	1		24
4. TERRE ET SOLEIL IMMOBILES								
4a. Obstacles entre la Terre et le Soleil 	2	7	1	1				11
4b. Soleil plus haut en été 	5		12				4	21
4c. Deux paysages et Soleil caché en hiver	13	6	33	13	2			67
4d. Un dessin pour chaque saison	1	7	8	3	5			24
5. MOUVEMENTS NON PRECISES								
5a. Distance Terre Soleil petite en été	5	9	28	10	6	2	1	61
6. INCLASSABLES								
6 a Hors classement ou non explicite	4	4	16	7	5		1	37
6b. Blanc	1	1	9		1			12
TOTAUX								
	34	58	231	93	75	40	65	596

dessin original d'élève

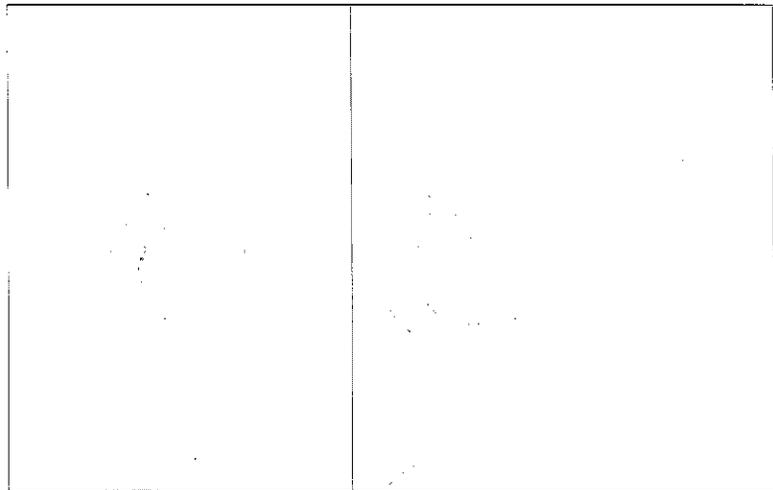


A l'aide d'un crayon à papier et de crayons de couleur, sans écrire un mot, faire un dessin (ou plusieurs) qui explique(nt) la succession du jour et de la nuit pendant 24 heures.

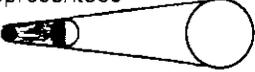
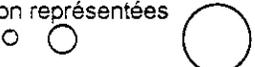
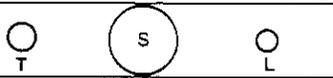
Conceptions initiales des élèves	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TERM	Prépa	Licence - IUFM	Total
1. ROTATION ET REVOLUTION (l'indication de la révolution n'était pas nécessaire)								
1a. Axe incliné, terminateur vertical 			6	3	4	7	6	26
1b. Confusion terminateur et axe incliné 	1	1	1	8	7	4	6	28
1c. Confusion terminateur et axe vertical 		4	25	17	14	6	12	78
1d. Vue de dessus 		8	30	7	6	4	10	65
1e. Confusion entre jour et année		3	27	14	15	4	8	71
1f. Univers fractionné 		3	1	1				5
1g. Ombre non représentées		1	20	2	2	3	2	30
2. ROTATION SANS REVOLUTION								
2a. Soleil- Jour et Lune- nuit 	2	1	3	1		1		8
2b. Univers partagé jour- nuit 	1	6	8	1	2			18
2c. Lumière noire de la Lune 		3	3					6
3. TERRE IMMOBILE								
3a. Soleil tournant autour de la Terre	3	3	11	7	1	1		26
3b. Soleil, Lune tournant autour de la Terre	5	7	10	1				23
3c. Variation de l'éclat du soleil	2	3	8	6	2			21
3d. Lune nuages ... cachant le soleil		1	7	1				9
4. PAYSAGES TERRESTRES								
4a. Soleil et Lune (déplacement horizontal) 		1	1	2	1			5
4b. Zones -paysages jour et nuit 	5	8	36	4	17	3	7	80
5. SYMBOLES ET ALLEGORIES								
5a. Jour et nuit sont symbolisés	4	5	8	9	3	1	1	31
5b. Allégories			1	2		3	1	7
6. INCLASSABLES								
6a. Dessin incohérent ou inclassable	1	6	22	3	1		1	34
6b. Dessin blanc	1	1	2					4
TOTAUX	28	62	229	89	75	37	54	574

ECLIPSE DE LUNE

Il y a eu, ce 16 septembre 1997, une éclipse de Lune. A l'aide d'un crayon à papier et de crayons de couleur, faire un dessin (ou plusieurs) qui explique(nt) ce phénomène. Ne pas écrire un mot.



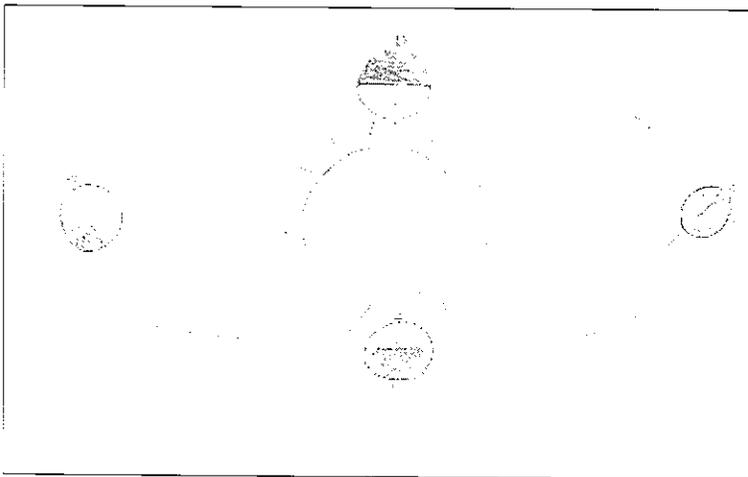
dessin original d'élève

Conceptions initiales des élèves	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TERM	Prépa	Licence-IUFM	Total
1. ORDRE SOLEIL- TERRE- LUNE RESPECTE								
1a. Ombres représentées 		3	23	51	42	20	43	182
1b. Ombres non représentées 	3	6	31	14	17	4	21	96
1c. Cône de lumière ouvert 		1	5	8	4	6	7	31
2. ORDRE SOLEIL LUNE TERRE								
2a. Ombres représentées 		1	16	6	3	2	1	29
2b. Ombres non représentées 		13	29	4	5	1	3	55
2c. Cônes d'ombre partant de la Lune 	1	1	5	3	2			12
3. LUNE ET SOLEIL VUS DEPUIS UN POINTS DE LA TERRE								
3a. Eclipse de Lune			8	3				11
3b. Eclipse de Soleil	6	18	104	22	7	2	1	160
3c. Objet cachant le Soleil 	1	3	5	1				10
3d. Objet cachant la Lune	1	2	5		1			9
3e. Lune en croissant 	1	17	13	4			2	37
4. SOLEIL ENTRE TERRE ET LUNE								
	1	5	27	7	3		2	45
5. INCLASSABLES								
5a. Confusion entre phases et éclipse		1	8	1	2	1		13
5b. Dessin non explicite	4	4	11	1	2			22
5c. Dessin blanc	3							3
TOTAUX								
	21	77	290	126	88	36	81	719

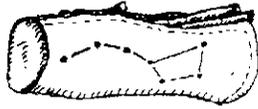
TRAJECTOIRE DE LA TERRE

A l'aide d'un crayon à papier et de crayons de couleur, sans écrire un mot, faire un dessin (ou plusieurs) qui explique(nt) le mouvement de la Terre autour du Soleil au cours d'une année. On pourra éventuellement, si cela ne gêne pas la description du phénomène, représenter l'étoile polaire. Ne pas écrire un mot.

dessin original d'élève



Conception initiales des élèves	CE2-CM1	CM2-6°	5°-4°	3°-2°	1°-TERM	Prépa	Licence - IUFM	Total
1. TRAJECTOIRE EN PERSPECTIVE								
1a. Axe incliné 			7	7	15	17	47	93
1b. Axe perpendiculaire à l'écliptique 	1	1	24	13	7	4	4	54
1c. Axe décrivant un cône 			7	5	2	5	1	20
1d. Axe terrestre en rotation 			3	1	3			7
1e. Axe non précisé 		10	34	12	13	4	15	88
2. TRAJECTOIRE DANS LE PLAN DE LA COPIE								
2a. Trajectoire circulaire, rotation non précisée 	4	20	102	25	13	1	1	166
2b. Trajectoire elliptique, Soleil au foyer 		3	16	5	6	4	4	38
2c. Axe perpendiculaire au plan de l'écliptique 	2	1	15	3	3	2	1	27
2d. Axe dans le plan de l'écliptique 		4	21	6	2		2	35
3. INCLASSABLES								
3a. Terre immobile	7	3	5					15
3b. Dessin non explicite	2	8	11		1	1		23
TOTAUX	16	50	255	77	65	38	75	576



L'éclipsolabe

Association Andromède, Marseille

AVEC NOS ÉLÈVES

Jean Pierre Odabachian, Marie France Duval et Lionel Ruiz ont élaboré un fascicule d'initiation à l'astronomie pour des élèves de collège (à partir de la sixième). Nous avons déjà parlé de ce travail dans le compte-rendu de l'AG 1998 (CC 85).

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de présenter une des six maquettes¹ à faire réaliser par les élèves, et choisi, actualité oblige, celle liée aux éclipses.

Utilisation de l'éclipsolabe.

Cet instrument permet de déterminer les moments de l'année où ont lieu les éclipses de Lune et de Soleil.

Description de la maquette et montage.

La maquette est constituée de trois disques en carton que l'on assemble à l'aide d'une attache parisienne après les avoir découpés et avoir évidé les parties noircies du plateau 1. L'ordre de montage est décrit par le schéma de la page suivante : 1 au dessus de 2, 2 audessus de 3.

Fonctionnement.

1 - Régler les lunaisons sur l'année en cours : il suffit de savoir quand aura lieu la première Nouvelle Lune de l'année en se reportant au calendrier des Postes ou au tableau de la page suivante. Aligner alors le triangle indiquant la première lunaison (plateau 2) à la date du calendrier.

2 - Régler la ligne des nœuds symbolisée par le trait épais du plateau 1 : se référer au tableau de la page suivante pour mettre cette ligne en face de la date correspondant à sa position (par rapport aux étoiles "fixes") le premier janvier.

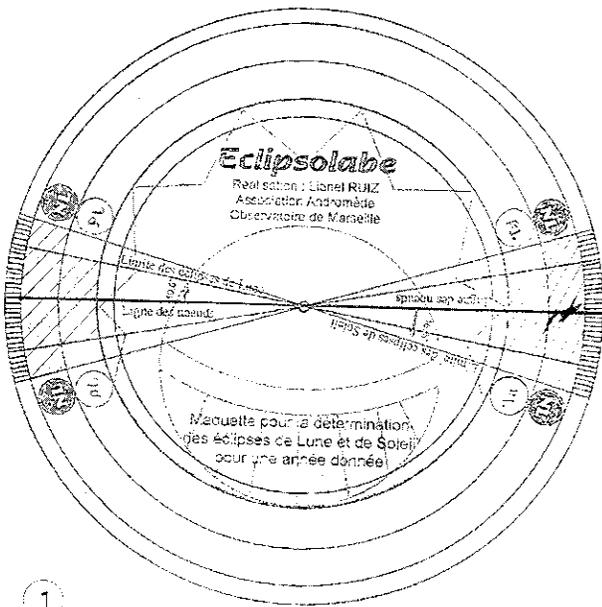
Lorsque les zones d'éclipses auront été repérées, ajuster sa position en tenant compte de son déplacement au cours de l'année.

3 - Regarder les Pleines Lunes et Nouvelles Lunes qui dépassent des cadres pour déterminer le nombre et le moment des éclipses en sachant que :

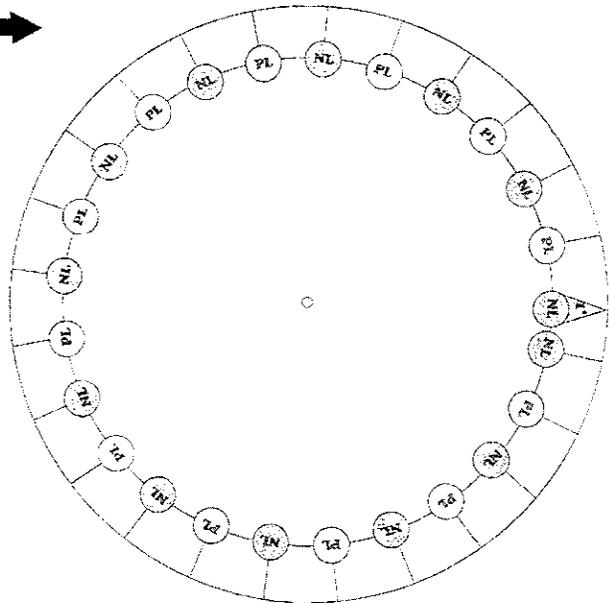
- les éclipses de Lune (partielles ou totales) n'ont lieu que lorsque la Pleine Lune (PL) tombe dans la petite zone couvrant un angle de deux fois $10,5^\circ$ autour de la ligne des nœuds.
- les éclipses de Soleil (partielles ou totales) n'ont lieu que lorsque la Nouvelle Lune (NL) tombe dans la grande zone couvrant un angle de deux fois $16,5^\circ$ autour de la ligne des nœuds.

La ligne des nœuds.

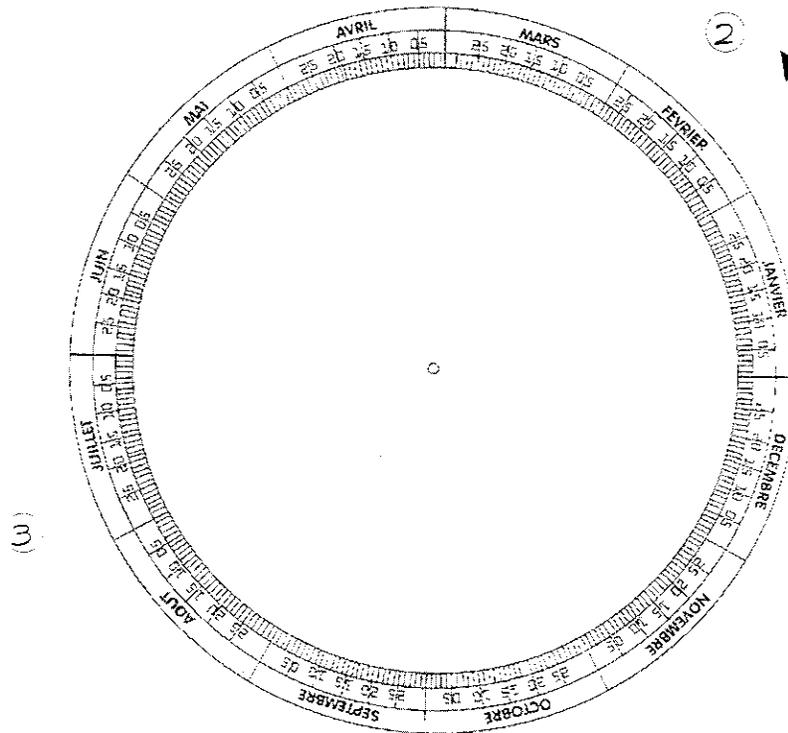
C'est la droite d'intersection du plan de l'orbite lunaire avec le plan de l'écliptique (l'angle formé par les deux plans est de 5°). Cette droite tourne dans le plan de l'écliptique de $19,5^\circ$ par an dans le sens rétrograde. Seules les NL et PL situées au voisinage de cette ligne des nœuds correspondront à un alignement suffisamment bon des centres du Soleil de la Terre et de la Lune pour permettre des éclipses².



1



2



(3)

échelle 1/2

Notes :

1 - On peut se procurer (ensemble mais pas séparément) les six maquettes : système solaire, calendrier perpétuel, nocturlabe, fuseaux horaires, éclipsolabe, planétaire, en écrivant à l'association Andromède. (Observatoire de Marseille, 2, place Le Verrier, 13248 Marseille Cedex 04).

L'ensemble comporte 8 pages cartonnées noir et blanc et 8 pages cartonnées couleur. Prévoir 70 F pour les frais de reprographie et d'envoi (60 F pour un envoi lent).

2 - Pour en savoir plus, on peut lire la fiche CLEA sur le lunoscope dans le HS n° 5 : Gravitation et Lumière.

Année	Première NL	Position de la ligne des nœuds le 1er janvier	Position de la ligne des nœuds le 1er juillet
1999	17 janvier	17 août	7 août
2000	6 janvier	28 juillet	18 juillet
2001	24 janvier	8 juillet	28juin
2002	13 janvier	17 juin	7 juin
2003	2 janvier	28 mai	18 mai
2004	21 janvier	8 mai	28 avril



Observer le Soleil et le photographeur

Pierre Causeret

L'éclipse totale de Soleil du 11 août approche et de nombreux enseignants et élèves la préparent activement.

Les conseils qui suivent devraient vous permettre d'observer et de photographier le Soleil dès maintenant et au moment de l'éclipse.

Il est très important d'attirer l'attention de tous sur les dangers de l'observation du Soleil. A chaque éclipse, il y a malheureusement des accidents.

L'observation du Soleil

• L'observation à l'œil nu

On peut observer le Soleil à l'œil nu pour étudier son diamètre apparent ou pour suivre les phases partielles d'une éclipse de Soleil. Mais il est rare de voir des taches solaires à sa surface sans instrument.

1 - L'observation directe.

Il est indispensable de filtrer correctement le rayonnement solaire. Tous les bricolages du genre lunettes de soleil superposées sont à proscrire. Voici quelques filtres :

- le négatif photo noir et blanc ou la radiographie bien noirs.
- le verre de soudeur N°14. La Société Astronomique de France en diffuse¹.
- le mylar de qualité et en bon état : il ne doit pas être plié ou froissé. Des lunettes en mylar avaient été distribuées pour l'éclipse partielle d'octobre 96.
- polymère noir pour l'observation du Soleil. Le planétarium de Strasbourg diffuse des lunettes en polymère² ainsi que l'Association Française d'Astronomie³.

2 - L'observation par projection.

C'est la méthode sans danger. Une feuille percée d'un trou permet de projeter

l'image du Soleil sur une autre feuille servant d'écran. C'est la méthode du sténopé. Elle peut être améliorée en posant la première feuille sur un miroir et en projetant l'image sur un écran situé dans l'ombre.

• L'observation avec un instrument

Si vous voulez suivre la rotation du Soleil et l'évolution des taches solaires, vous aurez besoin de grossir le disque solaire. Mais avec un instrument, on récolte plus de lumière et il faut prendre encore plus de précautions.

1 - Par projection.

On utilise un instrument de petit diamètre de type lunette de 60 mm ou télescope de 115 mm. Pour un plus gros diamètre, il est conseillé de diaphragmer l'ouverture par un cache à l'entrée. L'image du Soleil est projetée sur un écran, qui peut être tenu à la main, fixé sur un pied indépendant ou directement sur l'instrument. C'est une méthode sans risque à condition de toujours rester à proximité de l'instrument pour que personne n'observe directement.

On peut aussi relever la position des taches pour étudier la rotation du Soleil⁴.



Systeme de projection pour observer les taches solaires utilisé lors d'une université cété du CLEA. Pour les plus gros instruments, il est conseillé de monter l'entrée de lumière avec un coque, ceci pour éviter de les déformer.

2 - En vision directe.

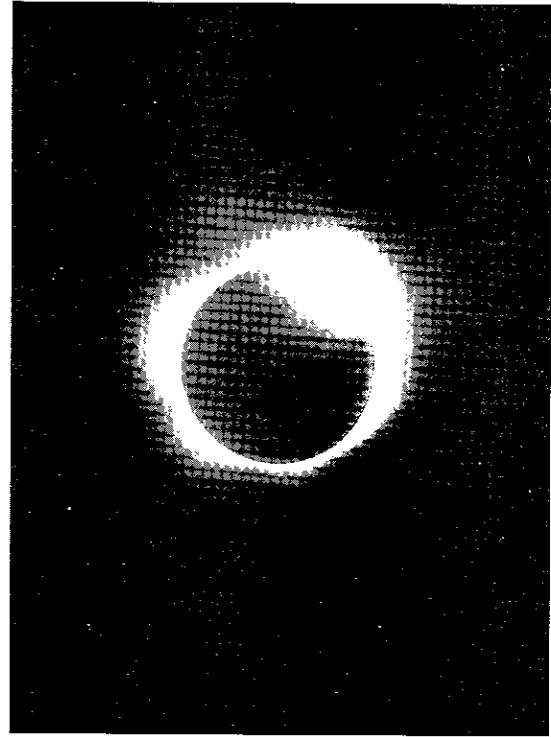
On trouve parfois des filtres solaires à installer sur l'oculaire. C'est une méthode dangereuse car toute la lumière entre dans l'instrument et la chaleur peut faire se fendre brutalement le filtre et brûler ainsi l'œil instantanément. A éviter absolument.

Il faut filtrer la lumière à l'entrée de l'instrument. Certains se bricolent eux-mêmes un filtre en mylar. On trouve aussi dans le commerce des filtres pleine ouverture en verre optique aluminisé ou nickelé laissant passer environ 1/10000 de la lumière (compter environ 1 200 F pour un 200 mm de diamètre). Pour utiliser avec des élèves, il est plus prudent d'utiliser les filtres du commerce.

L'observation de l'éclipse pendant la totalité

Tant que le Soleil n'est pas complètement occulté par la Lune, on l'observe en prenant toutes les précautions décrites ci-dessus. Si vous avez la chance d'être sur la ligne de totalité, vous pourrez observer sans filtre, à l'œil nu ou derrière des jumelles, une lunette ou un télescope, mais uniquement quand le Soleil est totalement éclipsé. Il faut surtout faire attention au retour du Soleil. Les filtres sont à remettre avant le 3ème contact. Il faut pour cela connaître parfaitement les horaires et avoir une personne avec un chronomètre qui avertira du retour de la lumière solaire.

Pendant la phase totale, on pourra observer les grains de Baily⁵ (au tout début et à la fin), les protubérances, la couronne solaire, les ombres volantes⁶, les planètes et étoiles brillantes (pour le 11 / 08 / 99 : Vénus, Mercure, Régulus, Procyon), les réactions des animaux... Une éclipse totale de Soleil est un spectacle rare et particulièrement impressionnant. Voici la description qu'en fait Paul Couderc⁷.



Grains de Baily photographés lors de l'éclipse du 26 février 1998 à Gloucester (Photo Alain Jaccard - SAB).

"Dix minutes avant la totalité, la nuit commence à tomber et le reliquat de lumière, issu du bord solaire, n'a pas les qualités, les caractères de la lumière ordinaire : le ciel et le paysage prennent d'étranges couleurs. Les animaux s'inquiètent, les oiseaux vont au nid. La température baisse et, parfois, de la rosée apparaît.

Quelques minutes avant que l'obscurité atteigne l'observateur, des ombres volantes comme des rides tremblantes à la surface de l'eau apparaissent sur toute surface blanche. Si l'observateur est bien placé, il voit dans les dernières secondes, du fond de l'horizon, l'ombre même de la Lune, comme une trombe puissante, accourir à une vitesse effrayante. Le dernier lambeau de Soleil qui va disparaître est souvent morcelé en points lumineux séparés (dits grains de Baily) par des irrégularités du bord de la Lune.

A l'instant où l'ombre arrive, la vaste couronne blanche apparaît ; la chromosphère forme une bordure brillante, d'un rouge vif, au limbe solaire éclipsé, où se voient les arches singulières d'immenses protubérances, de la même couleur rouge. Les planètes et les étoiles les plus brillantes apparaissent. La nuit est brutale, car l'œil, baigné jusqu'aux dernières secondes dans le rayonnement puissant d'un Soleil même amoindri, n'a pas eu le temps de s'y préparer. Au bout d'un moment, la vision s'ajuste et on trouve que la nuit n'est pas en vérité très profonde. La couronne et la chromosphère donnent autant de lumière que la Pleine Lune ; en outre, les portions de l'atmosphère terrestre situées en dehors du cône d'ombre, portions où le Soleil brille encore partiellement, diffusent aussi de la lumière. L'horizon (au-delà de la tache d'ombre) est comme luminescent. Mais la météorologie terrestre (transparence de l'air, sol mouillé ou neigeux) et les circonstances locales du phénomène (heure, hauteur du Soleil, largeur de l'ombre, durée de la totalité) donnent à chaque éclipse son aspect particulier, fort variable.

A la fin de l'éclipse, la basse atmosphère du Soleil brille comme un métal en fusion ; puis, instantanément, le jour revient, la couronne s'affaisse jusqu'à sembler, pendant une minute encore, un anneau jaunâtre ; sous l'effet de l'irradiation, le premier point du Soleil à réapparaître prend une largeur fictive comme un diamant de l'anneau coronal. Une minute encore, la lumière est revenue, le spectacle est terminé".

La photographie

1 - Les focales.

En format 24x36, le diamètre du Soleil sur le négatif est égal à la focale divisée par 108. Avec un objectif de 50 mm, le diamètre du Soleil sur le négatif est donc de 0,5 mm, avec un objectif de 200 mm ce sera 2 mm, et avec un télescope de 2 m de focale, 19 mm.

Si on veut des détails sur le Soleil, les grains de Baily ou des protubérances, il faut donc une focale élevée, entre 1 et 2 m. Pour photographier la couronne solaire pendant la phase totale, il vaut mieux un téléobjectif de 300 mm à 1 m. Pour les photos d'ambiance de la phase totale avec étoiles et planètes dans le champ, on utilisera un 50 mm ou un grand angle.

2 - Les filtres.

On peut utiliser les mêmes filtres que pour l'observation visuelle. Il est facile de se confectionner un filtre en mylar (toujours en bon état, ni froissé, ni plié) adapté à son téléobjectif par exemple. On trouve aussi dans le commerce des filtres adaptés à la photographie, qui laissent passer davantage de lumière que les filtres visuels. Leur gros intérêt est que l'on peut travailler avec des temps de pose réduits (autour de 1/1000 s), ce qui évite les problèmes de vibration.

3 - Les pellicules.

Pratiquement toutes les pellicules sont utilisables (diapos ou papier). Certains préfèrent le négatif papier qui permet un peu plus de marge sur les temps d'exposition mais le développement en laboratoire industriel de photos un peu particulières n'est pas toujours bien fait. La diapositive a l'avantage d'être traitée de manière standard.

On peut prendre des films sensibles (type 400 ISO) pour raccourcir les temps de pose et diminuer les problèmes de bougé mais on perd un peu en définition. Une pellicule de 100 ISO peut être un bon compromis.

4 - Photographies des taches solaires et des phases partielles.

- Première méthode : on photographie l'image du Soleil projetée par un instrument.

- Deuxième méthode : l'appareil photo sans objectif est fixé au foyer de la lunette ou du télescope muni d'un filtre.

On peut utiliser le temps de pose indiqué par la cellule, légèrement diminué si on veut avoir plus de détails dans la pénombre (x 1/2 par exemple). Il faut de toutes façons faire des essais.

La principale difficulté est la netteté. Il faut préférer les temps de pose courts pour les problèmes de bougé. L'idéal est de travailler au 1/1000 ou 1/2000 avec un filtre photographique. La mise au point est à soigner, ce qui n'est pas toujours facile.

Orientation des clichés : en prenant deux photos consécutives à 1min30 d'intervalle sans suivi, le déplacement du Soleil d'une photo à l'autre, dû à la rotation de la Terre, indique la direction de l'équateur. Une perpendiculaire donnera la direction nord-sud terrestre. Si on connaît le nord du Soleil, il faut tenir compte du fait que les axes de rotation de la Terre et du Soleil ne sont pas parallèles. Il y a 23,5° entre le nord terrestre et le nord écliptique et 7° entre le nord solaire et le nord écliptique. Ces 2 phénomènes induisent un écart variable de 0 à 26,3° entre le nord terrestre et le nord solaire noté habituellement P et compté positivement dans le sens trigonométrique. Les éphémérides astronomiques donnent cet angle de position en fonction de la date.

Valeurs données pour '99B (source Bureau des Longues) :

Date	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12
P (°)	+2,14	-12,1	-21,5	-26,2	-24,2	-15,5	-02,8	+10,7	+21,0	+26,0	+24,6	+16,2



Taches solaires photographées le 30 décembre dernier. Télescope Maksutov de 50 mm de diamètre ouvert à f/10 avec couleur de focale (photo Pierre Couseret).

5 - Photographies pendant la totalité.

L'éclipse du 11 août 1999 durera dans sa phase totale un peu plus de 2 minutes sur la ligne de centralité. Il faut donc avoir tout préparé d'avance pour espérer faire des photos réussies. Il faut aussi savoir que celui qui passera ces 2 minutes à photographier risque de ne pas vraiment profiter du spectacle.

On peut photographier (sans filtre) les grains de Baily et les protubérances juste après le 2ème contact ou juste avant le 3ème contact avec des temps de pose courts, la couronne interne ou la couronne externe avec des temps de pose plus longs, les étoiles et planètes autour du Soleil occulté. On peut travailler avec plusieurs appareils de différentes focales mais ce n'est pas évident.

Les temps de pose varient aussi en fonction de ce que l'on veut photographier. On commencera par des temps de pose courts pour les grains de Baily ou les protubérances.

Une monture motorisée est pratique mais non indispensable pour suivre le Soleil sans avoir à refaire le cadrage. Sans monture et avec une focale importante (>500 mm), il faudra penser à recadrer. Pour éviter les flous, le temps de pose maximum en secondes sans suivi est donné par la formule $500/(focale \text{ en mm})$.

Préparation avant la totalité.

Pensez à :

Mettre une pellicule neuve, bien accrochée et fixer le déclencheur souple. Régler la distance à l'infini avec l'ouverture maximale (on peut fermer d'un ou deux diaphragmes pour une meilleure qualité optique).

Déconnecter le flash.

Cadrer en prévoyant la position de la couronne.

Penser à prévoir une lampe de poche (frontale).

A l'instant du début de la totalité, ne pas oublier d'enlever le filtre.

On peut varier les temps de pose par exemple de 1/1000 s à 2 s puis on recommence de 2s à 1/1000 s.

Il est conseillé de s'entraîner avant l'éclipse à toutes ces manipulations.

Photos particulières :

Ombres volantes : sur un drap blanc en utilisant la cellule.

Eclipse en chapelet : avec un 50 mm, le Soleil parcourt la diagonale en 3 h. On peut donc envisager de caser une éclipse en chapelet tout juste sur cette diagonale (durée 2h 40 du début à la fin à Metz ou au Havre) mais il est plus prudent d'utiliser un grand angle. On fait une photo toutes les 10 minutes avec un filtre pendant la phase partielle. Il faut penser à bien prévoir l'heure de la 1ère photo pour en avoir une à l'heure de la totalité qui sera faite sans filtre. Il est nécessaire d'avoir un support stable et un boîtier permettant de réarmer sans faire avancer le film (attention, certains appareils récents limitent ce type de photo à 7 ou 9 expositions).

Quelques temps de pose donnés à titre indicatif à f / d = " avec une pellicule de 100 ISO :

Phase partielle avec filtre	Grains de Baily	Protubérances	Couronne interne	Couronne externe
suivant filtre	1/500 s	1/250 à 1/60 s	1/60 à 1/4 s	1/4 s à 2s

Pour d'autres ouvertures, le temps de pose est inversement proportionnel au carré du diaphragme : diviser les temps de pose par 2 pour $f/d = 8$; par 4 pour $f/d = 5,6...$

Pour d'autres films, le temps de pose est inversement proportionnel à la sensibilité (diviser les temps de pose par 4 pour une 400 ISO ou multiplier par 2 pour une 50 ISO).

6 - Filmer l'éclipse au caméscope.

Matériel : un caméscope avec zoom fixé sur monture motorisée et avec filtre. La fonction flexizone est utile.

Pendant la phase partielle : on installe le filtre. On zoome en prévoyant la taille de la couronne. On fait la mise au point (manuelle) et on règle la fonction flexizone sur la position supposée de la couronne, sans verrouiller.

A l'instant du 1er contact : on enlève le filtre, on verrouille l'exposition (fonction flexizone).

Pendant la totalité : on peut éventuellement varier l'ouverture et zoomer.

A l'instant de la fin de la totalité, on REMET le filtre.

Bibliographie :

Astronomie. Le guide de l'observateur, Tome 1

(Société d'Astronomie Populaire, Toulouse)

Éclipses totales

(P. Guillemier, S. Koutchmy, Ed Masson 1998)

La photographie astronomique d'amateur

(P. Bourge, J. Dragesco, Y. Dargery, Ed. Dunod)

18 fiches d'astrophysique (TP sur les taches solaires)

CLEA Belin.

La classe au Soleil par J.C. Pecker, CC 80 et 81.

Notes :

(1) Société Astronomique de France, 3 rue Beethoven 75016 Paris ; <http://www.iap.fr/saf/>

Verres de soudeurs n°14 : 10 F pièce ou 5 F par boîte de 100 plus le port (environ 65 F la boîte qui pèse 5 kg) .

(2) Planétarium de Strasbourg, rue de l'observatoire 67000 Strasbourg ;

<http://astro.u-strasbg.fr/Obs/PLANETARIUM/Eclipse/eclipse99.html>

Lunettes en polymère : 3 FTTC.

(3) Association Française d'Astronomie, 17 rue Émile Deutsch de la Meurthe 75014 Paris. Le lot de 10 lunettes en polymère 50 F TTC + 40 F de frais de port.

(4) TP décrit dans les fiches "astrophysique" du CLEA chez Belin

(5) Le bord du disque lunaire présente des irrégularités. Au tout début de la totalité de l'éclipse, ou juste à la fin, la lumière du Soleil peut encore nous parvenir en profitant de la dépression d'un cratère. Baily est le nom de l'astronome anglais ayant découvert ces grains en 1836 (à ne pas confondre avec Baily).

(6) Les ombres volantes sont des sortes d'ombres ondulantes qui semblent se propager à grande vitesse en même temps qu'arrive sur le lieu d'observation l'ombre de la Lune. On les observe sur toute surface claire lorsque le croissant solaire est très mince juste avant la totalité. Les rayons qui parviennent à l'observateur sont réfractés par les couches de l'atmosphère, suivent à cause de la turbulence atmosphérique des chemins optiques différents et ils interfèrent en donnant des franges d'interférence alternativement grises et blanches.

(7) Les éclipses par Paul Couderc "Que sais-je ?" n° 940.

Remue-Méninges : solution du problème du n°84

La photo permet de mesurer l'angle que fait l'équateur céleste avec l'horizon. On obtient 74 ou 75° .

Le schéma de droite montre que cet angle est justement le complémentaire de la latitude φ .

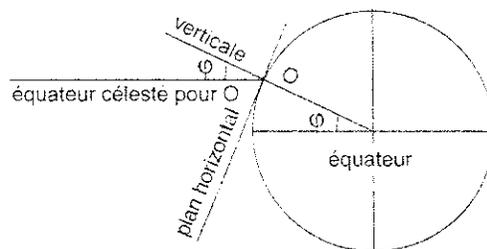
La photo a donc été prise depuis un lieu situé à 15 ou 16° de latitude.

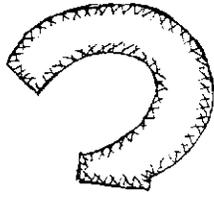
Ce lieu est situé dans l'hémisphère Nord puisque la position d'Orion permet de vérifier que l'étoile polaire doit être visible.

Les seuls départements français situés à une latitude de 15 ou 16° Nord, sont la Guadeloupe et la Martinique.

Cette photo a été prise en février 1998 depuis la Guadeloupe, à l'occasion d'un voyage pour observer l'éclipse totale de Soleil.

Pour déterminer le temps de pose de la photo, il suffit de mesurer la longueur d'une traînée lumineuse et de comparer avec l'écartement Bételgeuse - Saïph. On trouve que chaque étoile a parcouru environ $2,7^\circ$. Et comme on est situé à l'équateur, pas de problème, une étoile semble parcourir 360° en 24h ou 15° par heure. La pose a donc duré environ 11 minutes. Le photographe avait noté 10 min 30 s.





Enseigner l'histoire des sciences... Oui mais comment ?

Jacques Vialle, Astrolabe, La Rochelle

Jacques Vialle nous propose dans cet article une réflexion sur l'enseignement de l'histoire des sciences. Il s'appuie, entre autres, sur une expérience réalisée à La Rochelle, auprès d'étudiants en licence d'histoire.

Un récent article de K.Mizar (CC.78 p.11) pose le problème de l'enseignement de l'histoire des sciences. Après avoir commenté le programme qui avait été proposé en son temps par le grand historien des sciences que fut Paul Tannery (1843-1904), K.Mizar insiste à juste titre sur l'importance d'un tel enseignement, examine ses modalités possibles et conclut sur la nécessité de réfléchir aux principes et aux moyens à mettre en oeuvre. Intervenant dans un module "Méthodes et techniques de l'histoire des sciences" proposé aux étudiants en licence d'histoire par la Faculté des Lettres, Arts et sciences humaines de La Rochelle, j'ai pu effectivement constater à maintes reprises à quel point cette réflexion est urgente. Néanmoins, avec tout le respect dû à Paul Tannery, il ne suffit pas de composer un programme et de donner des directives pour résoudre un problème infiniment complexe. Car si la nécessité d'introduire quelques éléments d'histoire des sciences dans nos cursus scolaires et universitaires est une évidence, encore faut-il savoir qui, des scientifiques ou des historiens, sera chargé de les enseigner et ce qu'ils devraient enseigner. En outre, la réflexion sur ce problème ne peut être disjointe de la formation des maîtres, dont on ne peut dire que l'histoire des sciences soit actuellement une composante principale, encore que des tentatives existent ici et là (notamment dans l'Académie de Poitiers). Enfin, que peut fai-

re le CLEA dans son domaine d'intervention spécifique? Cela étant posé, il va de soi que les quelques réflexions qui suivent n'engagent que leur auteur.

A première vue, il paraît évident que le cours de physique-chimie ou de sciences de la vie et de la Terre (SVT) est un cadre tout indiqué pour y glisser quelques notions d'histoire des sciences. Par exemple, on y rappellerait quelques points essentiels sur la vie de Galilée ou de Kepler à la suite ou pendant l'étude de la relativité des mouvements ou encore on y esquisserait une histoire des représentations de la Terre à l'occasion d'une leçon de géologie. Il y a cependant un risque certain de présenter une vue réductrice du personnage ou du problème, voire de tomber dans une série de clichés. Ainsi Copernic devient-il (ou tend à devenir) le héraut de l'astronomie moderne, pourfendeur de l'obscurantisme médiéval (ou de l'aveuglement des aristotéliens) et dont l'œuvre se résume au célèbre *De revolutionibus orbium cœlestium* de 1543. On oublie ainsi que le système de Copernic, *héliostatique* ("in medio omnium residet Sol") beaucoup plus qu'héliocentrique, ressemble fortement à un ultime avatar du modèle de Ptolémée avec ses déférents, ses épicycles, et ses orbites circulaires sur lesquels les planètes circulent à vitesse uniforme.

On ne peut en fait traiter de l'héliocentrisme sans le replacer dans un cadre plus vaste car il s'inscrit dans le grand mouvement de résurgence des idées pythagoriciennes, caractéristique de la Renaissance. De plus, Copernic ne fut pas seulement un astronome estimé de ses confrères mais aussi un médecin et il eut une activité politique modeste mais non négligeable en s'opposant par exemple aux tentatives des Chevaliers teutoniques sur la Warmie ou encore en composant un petit traité sur la monnaie. Nous voilà bien loin de l'image du "chanoine craintif" n'osant pas publier le fruit de ses travaux par crainte des persécutions que nous présente, par exemple, Koestler dans *Les Somnambules*. Nous sommes maintenant dans le domaine de l'histoire proprement dite, et même dans celui de l'histoire des mentalités, et en tout cas bien en dehors du cadre du cours de physique.

Le domaine de l'histoire des sciences paraît donc bien être l'apanage de l'historien dans la mesure où l'histoire d'un concept ou la biographie d'un savant ne peuvent se séparer du contexte dans lequel ce concept s'est élaboré ou de l'époque à laquelle vivait ce savant.

Faut-il pour autant que le professeur d'histoire devienne un spécialiste de toutes les sciences ? Bien évidemment non, de la même manière que dans l'exercice normal de son métier, il n'a pas à être spécialiste de l'économie, de la politique voire de l'art militaire (souvenir du temps où la brillante manœuvre de Napoléon à Austerlitz pouvait être un sujet d'oral de Bac !). Lorsqu'on "fait" de l'histoire des sciences, on est historien et non physicien ou biologiste et de même lorsqu'un chimiste ou un astronome traite de l'histoire de sa science, il doit s'efforcer de le faire en historien et non en qualité. Le problème se résume alors à ceci : pour s'engager dans l'histoire des sciences, le scientifique doit connaître les méthodes de l'histoire et disposer d'une solide culture historique et réciproquement, l'historien doit disposer d'une solide culture scientifique.

En définitive, l'introduction de notions d'histoire des sciences à l'école ne pourrait donc être efficace qu'avec des enseignants possédant une bonne culture scientifique et historique. Il s'agit bien entendu de culture et non de con-

naissances de spécialité. Dans l'immédiat, la solution du problème passe probablement par l'établissement de projets multidisciplinaires dans lesquels collaboreraient des professeurs de diverses matières. Ces projets, conçus en dehors de tout programme contraignant, porteraient sur un thème général comme, entre autres, l'évolution de l'astronomie à une période donnée ou encore l'histoire d'un concept ou les développements d'une controverse comme le Grand débat sur les distances extragalactiques. Les élèves seraient ainsi amenés à confronter différents points de vue : ceux du scientifique, de l'historien ou du philosophe, sans oublier celui du professeur de Français tant il est vrai que les grands problèmes scientifiques ont forcément laissé des traces dans la littérature. Malheureusement, les enseignants des disciplines littéraires répugnent souvent à aborder ces questions parce que la science fait peur (trop de mathématiques, trop de chiffres, trop compliqué) et surtout parce qu'ils n'ont pas été formés à cela. L'expérience que nous avons à l'Astrolabe¹ du niveau de culture scientifique des étudiants en licence d'histoire, par ailleurs parfaitement compétents, le démontre amplement.

On en revient alors au problème, déjà mentionné à un siècle de distance par Paul Tannery, celui de la formation des maîtres. Mais, hic jacet lepus, dans quel cadre se ferait leur formation initiale : Fac de sciences ou Fac de lettres ? La solution idéale serait probablement de dispenser une formation commune à la fois aux littéraires et aux scientifiques, en créant par exemple des modules mixtes qui seraient validables dans le cursus scientifique aussi bien que littéraire. Dans cette formation commune, les littéraires apprendraient à connaître le point de vue du scientifique et prendraient contact avec les grands concepts de la science alors que les scientifiques seraient confrontés au point de vue de l'historien et découvriraient ses méthodes (critique des sources, évaluation des documents entre autres). Un tel profil est tout à fait envisageable à condition que la formation adéquate existe. Malheureusement, il ne faut guère s'attendre à voir s'ouvrir des chaires d'histoire des sciences un peu partout en France.

Néanmoins, il semble possible d'assurer une formation de qualité n'exigeant pas de moyens lourds en faisant appel aux ressources locales. C'est dans cette optique qu'à La Rochelle il a été créé dans le cadre de la licence d'histoire une UV optionnelle d'histoire des sciences qui remporte un assez grand succès puisque une quarantaine d'étudiants se présentent chaque année à l'examen de validation. Consacré à l'évolution des sciences au XVII^e et au XVIII^e siècle, cet enseignement se déroule en 25 heures réparties sur un semestre, soit dix heures de conférences assurées par des spécialistes invités et 15 heures de travaux dirigés. Dans ce module, pour le moment réservé aux historiens, nous avons bon espoir d'accueillir aussi les étudiants en sciences. Le principe de cette "mixité" est acquis et seuls des problèmes d'harmonisation d'horaires restent à résoudre.

Notre objectif est de donner aux étudiants, de futurs enseignants pour la plupart, une idée aussi précise que possible de l'évolution de la science et des grands problèmes auxquels elle s'est heurtée. Un autre objectif est de leur donner des clés qui les aideront par la suite à entrer plus avant dans le domaine, notamment en les guidant dans des bibliographies parfois complexes. Enfin, nous souhaitons les mettre en garde contre certaines idées reçues : le problème des relations entre l'Église et la science est un exemple typique. De plus, dans la mesure du possible, les TD s'appuient sur les ressources locales et se déroulent chaque fois qu'il est possible dans un cadre approprié tel que le cabinet de sciences naturelles du XVIII^e siècle dit cabinet Lafaille au Muséum d'histoire naturelle de La Rochelle, au Musée naval de Rochefort ou encore dans le fonds ancien de la Bibliothèque municipale de La Rochelle (importante collection de livres scientifiques anciens). Nous avons le sentiment que, partis de presque rien sur le plan scientifique, nos étudiants en ressortent avec une vue plus positive de la science et de son histoire.

L'originalité de cet enseignement est qu'il repose sur une structure légère facile à mettre en place sans moyens exagérément lourds.

Par exemple, nous faisons appel pour les cours-conférences non pas à un seul professeur chargé de cours mais à plusieurs chercheurs en histoire des sciences également spécialistes dans leurs disciplines respectives. L'avantage de cette manière de procéder, c'est qu'il est plus facile de faire venir plusieurs personnes comme intervenants extérieurs que d'obtenir un poste administratif spécifique pour cet enseignement. Bien entendu, cette solution ne vaut que dans le cas où il n'existe aucun enseignement d'histoire des sciences en tant que spécialité. Mais après tout, toute précaire qu'elle soit, elle vaut mieux que pas d'enseignement du tout.

Que peut faire le CLEA dans son domaine propre en ce qui concerne l'histoire des sciences? Bien des choses, à condition peut-être d'adopter sur certains problèmes un point de vue plus "historien". Ainsi, l'étude de l'orbite apparente de Mars, couramment utilisée comme exemple de la relativité des mouvements et des référentiels, est aussi l'occasion de comparer les modèles géocentriques et héliostatiques. Indépendamment du fait que très rares sont les élèves qui ont pu observer réellement les rétrogradations de Mars et qu'il pas sûr que l'observation de diapositives (au demeurant fort bien faites) remédie parfaitement à cette situation, on remarquera que, historiquement, le vrai problème n'était pas alors la place centrale du Soleil mais plutôt le mouvement de la Terre. Car en fait, au XVII^e siècle, la question était plutôt de savoir qui avait raison de Tycho Brahe ou de Copernic. Cela signifie que des TP portant sur le mouvement de la Terre et sur les preuves historiques de ce mouvement sont pédagogiquement plus féconds. Par ailleurs, du point de vue de l'histoire des sciences, on peut se demander si la découverte de l'ellipticité des orbites planétaires n'était pas infiniment plus dérangeante que le fait de mettre le Soleil au centre du Monde.

K.Mizar a raison : il faut faire une place à une véritable histoire des sciences dans notre enseignement. Mais le problème est difficile à résoudre et mérite plus que jamais une réflexion approfondie. Nous pensons pour notre part qu'il est urgent de donner aux historiens (et plus généralement aux litté-

raires) une culture scientifique solide et que réciproquement, les scientifiques doivent faire l'effort de se former aux méthodes de l'histoire. Dans l'immédiat, à quand un thème d'histoire des sciences dans les programmes du CAPES ?

VOIR AVEC LES YEUX DU PASSE...

Un des pièges de l'histoire des sciences, c'est d'évaluer une situation passée avec les yeux d'un observateur qui s'apprête à franchir le cap du XXI^e siècle alors qu'il faut s'efforcer de retrouver le ou les points de vue des contemporains de cette situation. Pour montrer à nos étudiants combien il faut se défier des idées reçues, nous leur demandons de réfléchir sur deux extraits traitant des relations de Kepler avec l'astrologie. Ecrits à deux époques différentes manifestement dans une perspective historique, ces deux citations sont révélatrices d'un état d'esprit. Pour Boquet, la pratique de l'astrologie est un penchant coupable dont Kepler doit être excusé. En contraste, G. Simon rappelle fort heureusement qu'à l'époque de Kepler, la pratique de l'astrologie était une composante normale du travail de l'astronome (ce qui ne veut pas dire que tous les astronomes de la Renaissance ont fait de l'astrologie).

KEPLER ET L'ASTROLOGIE

1. "En même temps qu'il enseignait l'Astronomie, Kepler devait rédiger des almanachs. Les protestants n'avaient pas accepté la réforme grégorienne. La Styrie était alors gouvernée par l'archiduc Charles d'Autriche, prince catholique mais d'une grande tolérance, il en donna la preuve en acceptant, sur la demande de notables commerçants, Kepler comme professeur. Celui-ci aurait donc pu rédiger ses almanachs suivant le vieux style. Il n'en fit rien, non par flatterie pour le prince, mais uniquement guidé par le point de vue scientifique. Ces almanachs étaient agrémentés de prévisions astrologiques. Kepler croyait-il à l'astrologie? On ne sait. " *Les philosophes*, dit-il, *ne devraient pas blâmer avec tant d'amertume la fille de l'Astronomie, c'est elle qui*

nourrit sa mère! " Mais en tirant les horoscopes, il prévenait les clients de la valeur de ses prédictions et, comme Tiresias le devin de Thèbes à Ulysse, il ajoutait : "*Ce que je dis arrivera ou n'arrivera pas!*" Ce n'est pas d'un astrologue bien convaincu. Il devait cependant être sincère lorsqu'après avoir en tiré l'horoscope, il écrit à son vénéré maître Mœstlin : "*Je doute que votre fils puisse vivre.*" L'enfant mourut ! Kepler perdit aussi à cette époque l'un de ses enfants."

F. BOQUET.
Histoire de l'Astronomie
(Paris : 1925), p. 316

2. "Que l'un des fondateurs de l'astronomie moderne, Kepler, ait été aussi un astrologue convaincu, c'est là une sorte de scandale que révèlent les hésitations et les euphémismes de l'historiographie. A défaut de nier les faits, on en minimise l'importance : on considère qu'il s'agit d'une basse besogne, à laquelle l'astronome aurait consenti pour subvenir à ses besoins; toujours ou presque une nuance de regret se fait sentir, comme s'il fallait dévoiler, avec la tare secrète d'un des plus grands princes de la science, une tache honteuse sur la famille. Souvent, de manière subconsciente, on creuse le fossé entre la recherche noble du promoteur de la mécanique céleste et les obligations plus ou moins subies du faiseur d'horoscopes. Rares sont les monographies qui accordent à cette partie insolite et peu connue de ses travaux une mention rendant compte de ce qu'ils furent et du prix que lui-même y attachait. Ces réprobations qui transparaissent sans vraiment s'avouer sont révélatrices : il existe pour la pensée moderne des recherches qui sont des fautes qu'il convient de taire. Même à trois ou quatre siècles de distance, les grands ancêtres n'ont pas le droit d'échapper aux normes de la raison contemporaine."

Gérard SIMON.
Kepler astronome astrologue
(Paris : Gallimard, 1979), p. 29

Le risque d'interpréter le passé en fonction de ce que nous savons maintenant est permanent : ainsi, il est facile de reprocher aux astronomes jésuites (et à quelques autres) d'avoir défendu le système de Tycho Brahe, au point

d'avoir retardé l'arrivée du copernicisme en Extrême-Orient d'un bon siècle. (Il existait néanmoins quelques astronomes coperniciens dans la Compagnie !) C'est oublier que, pour différentes raisons, le mouvement de la Terre était un concept inimaginable au moins dans les premières décennies du XVII^e siècle. En conséquence, la solution proposée par Tycho pouvait parfaitement apparaître comme un compromis plausible réconciliant Copernic (les planètes sont animées d'un mouvement de révolution autour du Soleil) et le principe d'immobilité de la Terre.

Pour aider nos étudiants à voir "avec les yeux du passé", nous les incitons à fréquenter aussi souvent que possible les documents originaux bien que nous ne puissions malheureusement pas présenter de fac-similés : photocopies évidemment impossibles et reproductions photo trop coûteuses. C'est pour leur faire saisir la nécessité pour l'historien des sciences de se référer au document authentique que tous ceux qui leur sont présentés (en général des extraits d'œuvres, parfois des gravures) sont systématiquement extraits des ressources locales (fonds de bibliothèques, collections des musées rochelais).

Note :

1 - Implanté dans une ZEP, L'Astrolabe de La Rochelle est un Centre de culture scientifique et technique qui travaille actuellement en partenariat avec l'Académie de Poitiers et avec l'Université de La Rochelle. ■

Thalès et les éclipses de Soleil

Pierre Causeret

L'éclipse totale du 11 août 1999 est une bonne occasion d'utiliser le théorème de Thalès. Pour les profs de maths et leurs élèves à partir de la 4^{ème}...

Quelques données:

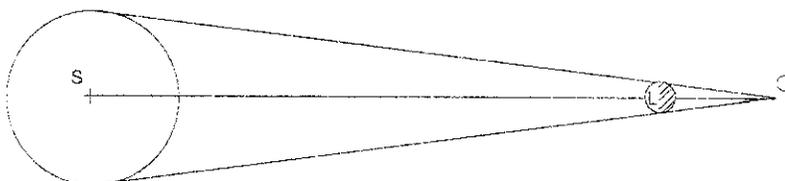
Rayon du Soleil $r_S = 700\,000$ km Distance Terre Soleil : elle varie de 147 100 000 à 152 100 000 km
 Rayon de la Lune $r_L = 1740$ km Distance Terre Lune : elle varie de 356 400 km à 406 700 km
 Rayon de la Terre $r_T = 6370$ km

Exercice 1

S et L sont les centres respectifs du Soleil et de la Lune. O représente l'observateur, que l'on considère situé à 150 000 000 km du Soleil.

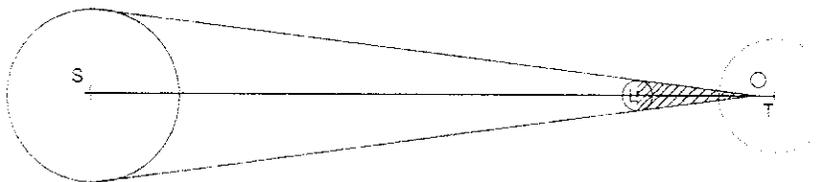
a) Calculer à quelle distance il faudrait placer la Lune pour qu'elle cache exactement le Soleil.

b) Calculer $\frac{r_S}{r_L}$ puis $\frac{OS}{OL}$.



Exercice 2

La Terre est représentée ici en pointillé avec pour centre T. Sa position par rapport à O, le sommet du cône d'ombre, dépend des éclipses.



Calculs pour l'éclipse du 11 août 1999

Distance Terre Soleil : 151 600 000 km ; Distance Terre Lune : 373 200 km

a) Calculer LS. b) Calculer la longueur du cône d'ombre LO. c) Conclure.

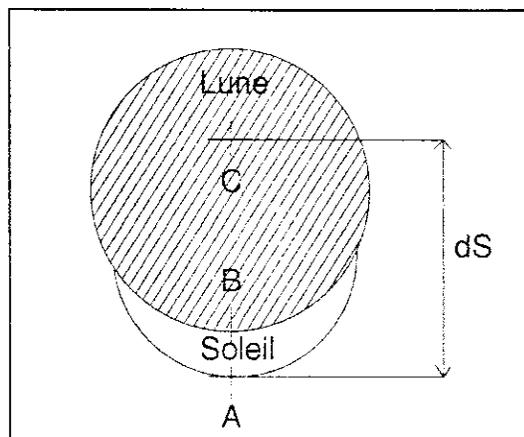
Quelques précisions : le deuxième exercice n'est pas facile pour des élèves de collège. Il vaut mieux avoir fait auparavant le premier. Les calculs sont ici simplifiés. Dans la réalité, les centres du Soleil, de la Lune et de la Terre ne sont jamais parfaitement alignés.



Grandeur d'une éclipse

(et pourcentage de la surface du disque solaire éclipsee)

Pierre Causeret



Problème

Quand une éclipse n'est pas totale en un lieu, on donne soit sa grandeur soit le pourcentage de la surface du disque solaire éclipsee. Il y a souvent confusion entre les deux.

On appelle grandeur de l'éclipse la quantité BC/AC ou BC/dS .
(dS = diamètre apparent du Soleil).

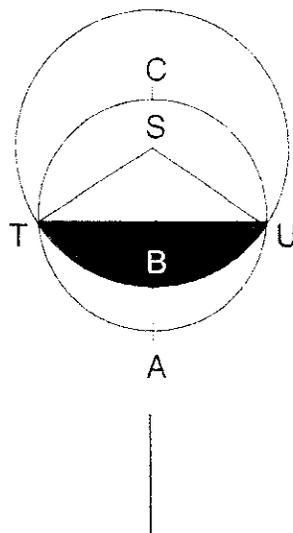
A Madrid par exemple, la grandeur de l'éclipse du 11 août 1999 sera de 0,73. Ce qui signifie que $BC/AC = 0,73$ ou que 73% du diamètre solaire [AC] seront occultés par la Lune. Mais pourriez-vous calculer le pourcentage de la surface du disque solaire éclipsee ?

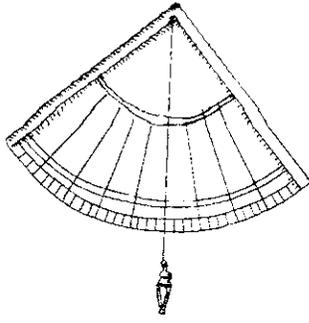
Ce jour-là, le diamètre apparent du Soleil sera de 31,6' et celui de la Lune de 32,5'.

Aides

Ce problème peut être fait par des élèves de 3^{ème}, avec un peu d'aide cependant. On peut commencer par calculer l'aire de la partie grisée par soustraction de deux aires, un secteur de disque moins un triangle.

Pour les problèmes d'unité, on donnera des longueurs sur le schéma en mm.





L'histoire de la vitesse de la lumière

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

Le troisième et dernier épisode de cette histoire nous décrit en détail l'expérience de la roue dentée de Fizeau et celle du miroir tournant de Foucault. Robert Garnier nous dépeint le contexte historique de ces travaux qui permettent les premières déterminations expérimentales de la vitesse de la lumière.

5 - Enfin les premières mesures directes de la vitesse de la lumière.

Lorsque Hippolyte Fizeau et Léon Foucault effectuent les premières déterminations expérimentales de la vitesse de la lumière, la question du choix entre les modèles corpusculaire et ondulatoire semble être devenue obsolète. Le modèle de Fresnel a fini par s'imposer en sorte que l'expérience qu'Arago espérait décisive a perdu beaucoup de son intérêt. Il ne s'agit donc plus, à l'horizon 1848, de comparer les vitesses de propagation de la lumière dans deux milieux d'indices différents. Il y a, croyons-nous, tout lieu de penser qu'on en serait resté là, si Arago n'avait introduit Fizeau et Foucault à l'Observatoire de Paris. Il convient en effet de remarquer que les développements de l'optique d'alors qui s'inscrivent dans le droit fil de la théorie de Fresnel ne font jamais appel à la valeur de la vitesse de la lumière. Pour voir les choses évoluer, il faudra attendre l'année 1865 avec la publication par James Clerk Maxwell (1831-1879) de la théorie électromagnétique de la lumière et l'éclatante confirmation expérimentale qu'en apportera Heinrich Hertz en 1887 avec sa découverte des ondes électromagnétiques. A l'appui de notre thèse, soulignons qu'en ce milieu du dix-neuvième siècle, rien n'indique qu'il y ait eu une quelconque compétition entre savants pour la première détermination expérimentale de la vitesse de la lumière. Fizeau et Foucault semblent bien avoir agi en solitaires.

Étranges destins en vérité que ceux de Leon Foucault (1819-1868) et de Hippolyte Fizeau (1819-1896) que l'histoire de la physique a toujours associés. Lorsque l'on évoque la mesure de la vitesse de la lumière ne cite-t-on pas toujours conjointement la roue dentée de Fizeau et le miroir tournant de Foucault, comme si décidément ces deux expériences, l'une et l'autre également historiques, mais profondément différentes dans leur principe, ne formaient que les deux volets d'une seule et même expérience. Il est évident que les deux protagonistes de notre histoire ont beaucoup plus d'un point commun. Qu'ils soient nés la même année, à quelques jours d'intervalle, peu importe, ce n'est pas cela qui les a rapproché. En matière de sciences physiques l'un et l'autre sont des "amateurs" qui, s'ils ne sont pas issus des Grandes Écoles, ne se révèlent pas moins être des autodidactes de talent et des bricoleurs de génie. Ce qui les a rapprochés au début des années 1840, c'est une passion commune pour la photographie naissante. Il serait fastidieux d'énumérer tous les travaux issus d'une collaboration qui se poursuivra sans faille jusqu'en 1848, date à laquelle Fizeau publie sous son seul nom un mémoire portant sur la comparaison des impressions produites par les ondes sonores et lumineuses sur un observateur en mouvement relatif, c'est-à-dire sur ce qu'on appellera plus tard l'effet Doppler-Fizeau.

L'histoire est muette sur les raisons qui sont à l'origine de cette séparation. Il est possible qu'ils aient décidé de résoudre chacun de leur côté le problème de la détermination de la vitesse de la lumière. Quoi qu'il en soit, Fizeau et Foucault qui restent discrets sur ce sujet et demeurent en bons termes ne tarderont pas à se retrouver sur les bancs de l'Académie.

Ni Foucault, ni Fizeau n'occupent de position officielle et n'ont d'emploi rémunéré. L'un comme l'autre financent leurs recherches en faisant appel aux deniers familiaux. Ce n'est qu'en 1854, donc postérieurement à sa mesure de la vitesse de la lumière et à la mort d'Arago que Foucault sera pourvu par Napoléon III d'un poste de physicien à l'Observatoire de Paris, poste créé spécialement pour récompenser ses mérites. Quant à Fizeau, il deviendra membre du Bureau des Longitudes seulement en 1878, soit quinze ans après que le décès de son épouse ne soit venu jeter une ombre sur son existence et tarir quelque peu sa créativité scientifique. Au cours de la période 1840-1845, Fizeau et Foucault publient dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences une série d'articles traitant de ce que l'on appelle alors les "images daguerriennes", c'est-à-dire de la photographie. Ils proposent un certain nombre d'améliorations qui permettent de réduire d'un facteur cent la durée d'exposition et d'obtenir des clichés à l'épreuve du temps. En septembre 1845 ils attirent l'attention sur eux en obtenant la première photographie du disque solaire révélant en particulier l'assombrissement centre-bord. Arago perçoit immédiatement l'impact que de tels progrès peuvent avoir sur l'astronomie et il envisage le moment désormais proche où le cliché photographique constituera le document fiable et par suite incontournable de l'observation astronomique. Il introduit donc les deux amis à l'Observatoire où Léon Foucault, nommé physicien par un décret impérial de février 1855 se trouve bientôt en charge à la suggestion de Urbain Le Verrier (1811-1877), de parfaire les miroirs. Son travail aboutira plus tard (1857) au remplacement des miroirs sphériques métalliques, peu réfléchissants et pourvus d'aberrations par des miroirs paraboliques en verre sur les-

quels une fine argenture est déposée par voie chimique. Pour parvenir à ce résultat, il mettra au point un procédé de retouches locales encore utilisé de nos jours. Les performances des télescopes s'en trouveront décuplées ce qui ouvre des espoirs nouveaux pour l'étude du ciel profond. Mais surtout Arago fait partager au tandem Fizeau-Foucault ce qu'il considère comme sa grande idée, la comparaison des vitesses de la lumière dans deux milieux d'indices différents.

Est-ce que Fizeau et Foucault travaillaient ensemble sur l'expérience imaginée par Arago ? C'est possible mais on manque d'informations pour une raison bien simple : cette expérience n'ayant jamais abouti, elle n'a jamais fait l'objet de compte rendu officiel. Une chose est certaine, et c'est Foucault qui en fait part, Arago n'a pas ménagé sa peine. Les principales difficultés s'avérant d'ordre mécanique, il a fait appel à l'un des orfèvres en matière de mécanique de précision de l'époque, Louis Bréguet (1804-1883), horloger qui s'est spécialisé dans la réalisation d'instruments scientifiques. Mais quelles que soient sa créativité et son habileté, Bréguet ne parvient pas à surmonter toutes les difficultés qui se font jour à mesure qu'avance le projet. Sans qu'ils n'en fassent jamais état, il est vraisemblable que Fizeau et Foucault qui sont eux mêmes des expérimentateurs hors pairs ont compris qu'avec l'expérience proposée par Arago on a atteint les limites de ce qui est techniquement possible à la fin des années 1840. L'un et l'autre ont fini par se convaincre que l'on se trouve dans une impasse et qu'il faut donc aborder le problème autrement. Pour qui connaît la fécondité de ce qu'a été leur collaboration jusqu'ici et leur amitié, il semblerait logique de les voir aborder conjointement un problème qui les passionne d'autant plus qu'il perçoivent bien que l'on atteint là les frontières du réalisable. Entrevoient-ils chacun de leur côté une approche différente de la question et entendent-ils poursuivre chacun dans la voie entrevue ? L'histoire ne le dit pas, mais ce qui est sûr c'est que dès les premiers mois de l'année 1850, d'un commun accord, ils mettent un terme à leur fructueuse collaboration scientifique. Lorsqu'on re-

garde l'histoire d'un peu plus près en prêtant attention à la chronologie des événements, on s'aperçoit que la première mesure de la vitesse de la lumière par Fizeau au moyen de la roue dentée remonte aux premiers jours de l'été 1849. Elle est donc antérieure au moment où les deux amis décident de se séparer et comme la mise au point de cette expérience ne s'est pas faite du jour au lendemain, tout porte à croire qu'il y avait déjà un certain temps que le projet était dans l'air et cela Foucault ne pouvait pas l'ignorer. Comment se fait-il que ce soit au moment précis où leur collaboration soit la plus prometteuse que leurs chemins se mettent à diverger ? Ne perdons pas de vue que nos deux personnages ne travaillent pas dans un même laboratoire. S'ils se rencontrent très souvent, c'est pour échanger des idées ou rédiger des rapports mais, n'appartenant à aucune institution officielle, ils expérimentent chacun de leur côté, à leur domicile respectif. Rien d'étonnant donc à ce qu'ils aient cherché à "personnaliser" leur recherche. En 1849 Fizeau focalise son activité sur la roue dentée alors que Foucault achève la mise au point de son régulateur pour la lumière émise par l'arc électrique et illumine la place de la Concorde.

6 - L'expérience de Fizeau (1849)

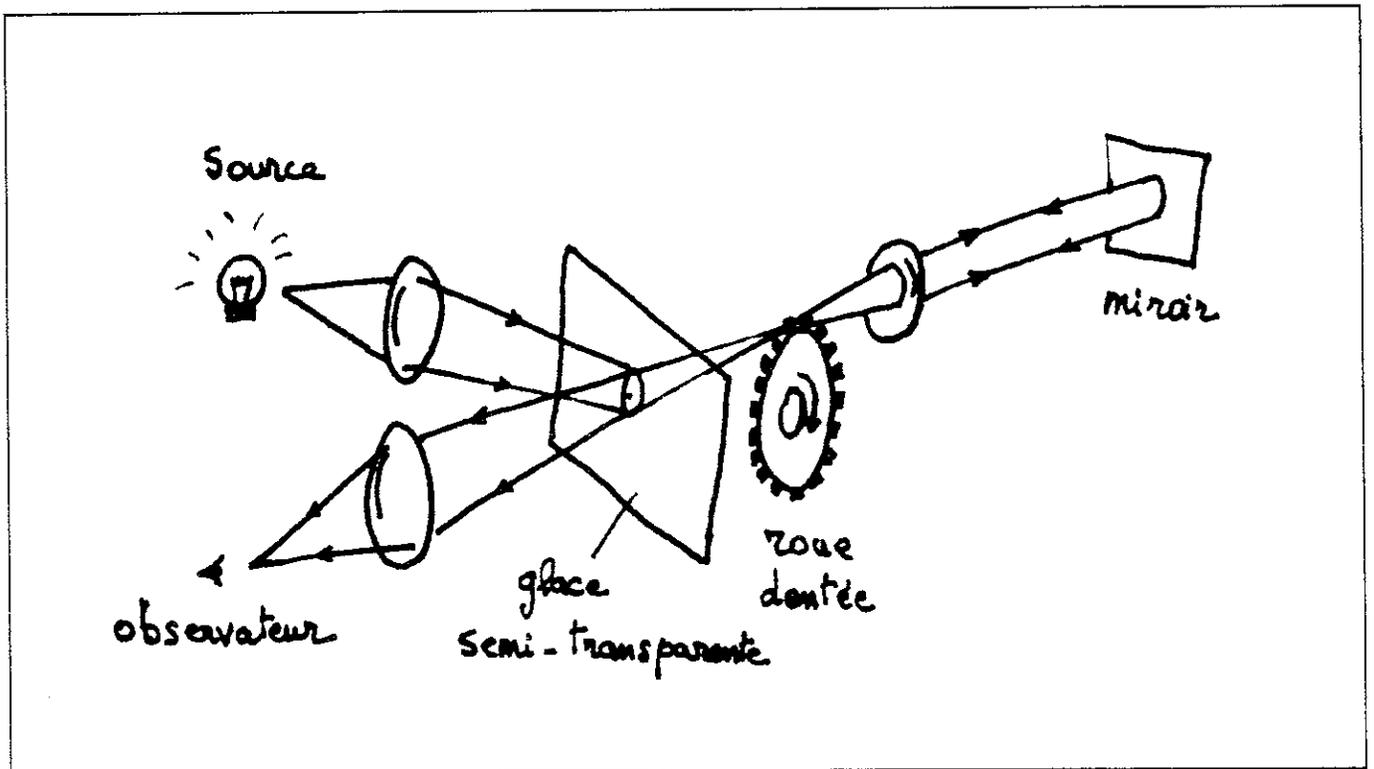
Fizeau n'a jamais dit ni écrit comment lui est venue l'idée de piéger la lumière au moyen d'une roue dentée. Dans sa "Notice sur l'oeuvre scientifique de Fizeau", son élève et continuateur Alfred Cornu (1841-1902) se souvenant de conversations avec son maître, formule à ce sujet un certain nombre d'hypothèses. Ce qui est certain, c'est que l'année précédant cette fameuse mesure, donc en 1848, Fizeau travaille sur les ondes acoustiques et ce qu'on appellera plus tard l'effet Doppler Fizeau. Au cours de cette étude, il est conduit à utiliser une sirène du type de celle développée par le physicien français Félix Savart (1791-1841), appareil comportant une roue dentée tournant devant un ajustage qui fait face à la couronne de dents. Lorsque la roue tourne, le jet d'air émis par l'ajustage est haché périodiquement et la sirène émet un son d'autant plus aigu que la roue tourne plus vite.

C'est à cette occasion que la roue dentée fait son entrée dans la vie de Fizeau, mais de là à conclure que c'est la sirène de Savart qui est la source de son inspiration pour la mesure de la vitesse de la lumière, il y a un pas que nous ne franchirons pas.

Le principe de la mesure de la vitesse de la lumière au moyen de ce que la tradition désigne sous le nom de "méthode de la roue dentée" est décrite avec précision dans d'innombrables manuels. Si dans son principe elle est relativement simple, sa réalisation pratique, comme nous le montrerons plus tard,

La solution du problème est immédiate, la lumière a parcouru une distance $2D$ dans le temps t' nécessaire à la roue pour se décaler d'une demi-dent. Si ce temps t' est un peu plus long ou un peu plus court que t , le faisceau de retour reparait. Toute la difficulté consiste donc à fabriquer une roue munie d'une denture d'une régularité aussi parfaite que possible et à en régler la vitesse de rotation de manière à maintenir l'extinction du faisceau de retour et ce sont précisément ces deux choses qui, en 1849, relèvent de la prouesse technique.

regrettable lacune car lorsque ce dernier réalise sa première détermination de la vitesse de la lumière entre Suresnes et Montmartre, Froment est bien à ses côtés et il ne semble pas que son rôle soit celui d'un simple spectateur. Lorsqu'en décembre de la même année, Foucault rend compte de l'expérience dans le "Journal des Débats", il associe les deux noms et il écrit : "La publication de ce travail dû à Messieurs Fizeau et Froment est un grand événement dans la science" et Arago ne s'y trompe pas davantage puisque, dès le mois de novembre, il a obtenu la légion d'honneur et pour Fizeau et pour Froment.



n'allait pas sans poser de sérieux problèmes techniques dont la solution, à l'époque, était loin d'être évidente. Si t est le temps nécessaire à la lumière pour aller d'une source lumineuse S à un miroir M éloigné d'une distance D et revenir à la source S est identique au temps t' mis par la roue dentée R pour avancer d'une demi-dent, et si d'autre part, les creux entre les dents pleines de la roue ont même largeur que les dents, tout rayon lumineux transmis à l'aller, à un moment où le point P se trouve dans un creux, rencontre une dent au retour. Dans ce cas précis, l'observateur O qui regarde le faisceau de retour dans la lame semi-réfléchissante L , ne perçoit aucun signal lumineux.

Pour réaliser sa roue dentée et le mécanisme destiné à en assurer la rotation, Fizeau s'adresse à Gustave Froment (1815-1865), l'un des plus habiles constructeurs d'instruments de précision de son temps. Ce choix n'est pas anodin. En effet, Froment, dès 1844, et c'est une première, utilise à des fins industrielles, un moteur électrique alimenté par une pile, pour entraîner les machines à diviser dont il se sert dans la fabrication de ses instruments de précision. A la fin des années 1840, il est de loin le plus compétent pour satisfaire aux besoins de Fizeau. L'histoire n'a pas cru bon d'associer à la méthode de "la roue dentée" le nom de Froment à celui de Fizeau et il y a peut être là une

A partir de leur expérience de l'été 1849, Fizeau et Froment estiment la vitesse de la lumière à 315 000 kilomètres par seconde. C'est une valeur légèrement supérieure à celles fournies jusque-là par les observations astronomiques. Tous deux sont parfaitement conscients qu'il ne s'agit que d'un début, un indiscutable succès certes puisque tout a marché du premier coup, mais qui a mis en évidence la difficulté de maintenir constante la vitesse de rotation de la roue dentée.

Ce n'a pas été sans peine que l'extinction du signal de retour a pu être obtenue. La mise au point d'un dispositif plus précis se révélera d'ailleurs

plus laborieuse que ne l'imaginent pour le moment Fizeau et Froment. En ce qui concerne la mesure de la vitesse de la lumière proprement dite, il serait exagéré de dire que cette expérience révolutionne les données de la physique ; elle ne change aucun ordre de grandeur et ne semble que confirmer les résultats obtenus antérieurement par les astronomes. En fait elle marque un tournant dans l'histoire des sciences en ce sens que c'est la première fois que la lumière est en quelque sorte "piégée" et on serait même tenté de dire "domptée". Les retombées ne seront pas immédiates, puisque Fizeau ne reprendra pas à son compte l'idée d'Arago qui était pourtant à l'origine du projet. Il en laissera le soin à Foucault. Il semble qu'il faille attendre 1887 et les travaux de Heinrich Hertz qui, en établissant entre autre l'identité des vitesses de propagation de la lumière et des ondes électromagnétiques apportera une contribution décisive à la confirmation de la théorie de Maxwell. Mais ce que Fizeau ne peut présenter au moment où il publie son résultat, c'est le rôle qui sera dévolu à la vitesse de la lumière moins d'une cinquantaine d'années plus tard où elle sera alors à l'origine d'une complète remise en question des concepts fondamentaux de la physique.

7 - Foucault réalise l'expérience d'Arago (1850).

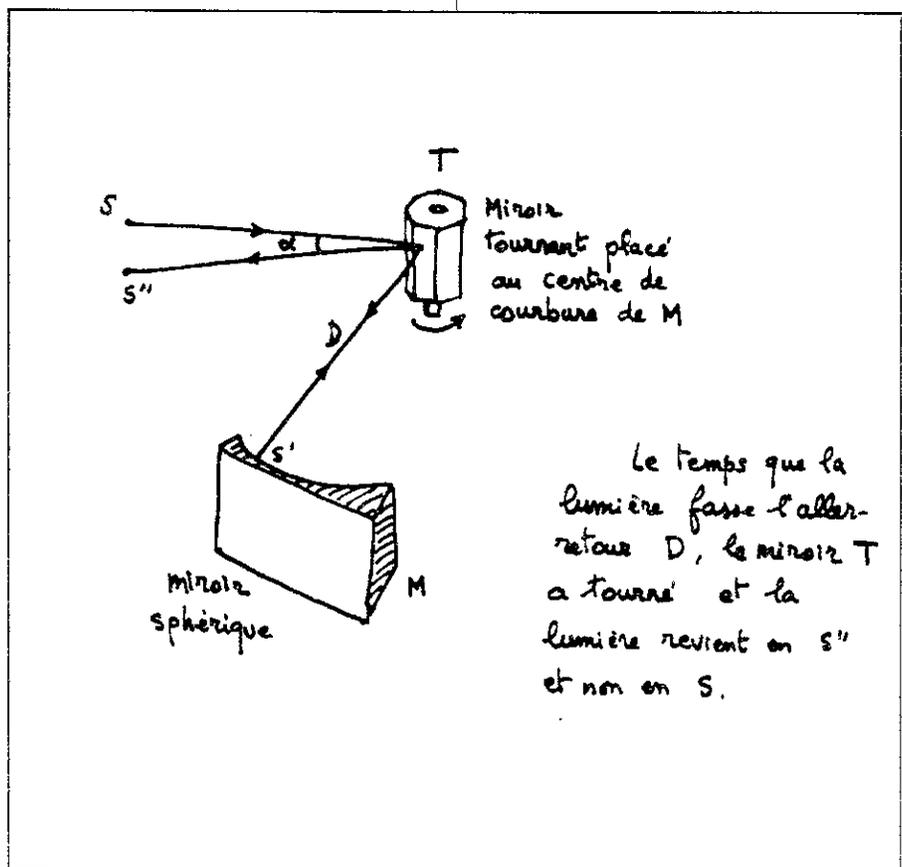
Lorsque, en 1850, Léon Foucault reprend l'expérience proposée par Arago douze ans auparavant, il met à profit un certain nombre d'innovations techniques. Jusqu'ici l'obstacle principal résidait dans l'impossibilité d'imprimer au miroir tournant une rotation suffisamment rapide pour donner des faisceaux émergents deux images nettement séparées. Foucault a l'idée d'entraîner le miroir tournant, non par un mécanisme classique, mais au moyen d'une petite turbine alimentée en vapeur d'eau par l'intermédiaire d'un "surchauffeur". Il en confie la réalisation à l'incontournable Gustave Froment. Une difficulté imprévue ne tarde pas à se manifester : au delà d'une vitesse de rotation de 200 tours par seconde, la couche réfléchissante du miroir obtenue par un étamage traditionnel au mercure ne résiste pas. Le problème est rapidement résolu par un dénommé Radiguet, l'opticien qui fournit Foucault en miroirs. Celui-

ci fait appel à une technique qui commence à être appliquée commercialement et qui n'est autre que le procédé classique d'argenture lequel conservera la faveur des astronomes jusqu'à l'apparition de l'aluminium.

Le 27 avril 1850, Léon Foucault assisté de Froment et de Radiguet réalise donc à son domicile parisien l'expérience d'Arago. La vitesse de rotation du miroir atteint 512 tours par seconde, performance suffisante pour mettre en évidence le fait que le signal transmis par l'eau présente un décalage angulaire plus grand que celui transmis par l'air. Interprété en termes physiques, cela signifie que la lumière se propage plus rapidement dans l'air que dans l'eau. C'est bien le résultat prédit par la théorie ondulatoire et on serait tenté de dire que cette expérience met un point final à la controverse entre les partisans du modèle ondulatoire et ceux du modèle corpusculaire, si ces derniers ne représentaient plus en 1850 qu'une très faible minorité. Lorsque Arago avait suggéré cette expérience, les idées de Fresnel ayant déjà fait bon nombre d'adeptes il aurait fallu, pour qu'elle ait un impact décisif, pouvoir la réaliser aussitôt ce qui s'avèrait impossible pour les raisons techniques évoquées plus haut.

Il n'en reste pas moins vrai que cet exploit de Foucault et des autres participants restera parmi les plus grands succès de la physique du dix-neuvième siècle.

Il convient d'insister sur le fait que, bien que cette expérience fasse appel à un miroir tournant, elle n'a rien à voir avec celle que traditionnellement on appelle la "méthode du miroir tournant" que Foucault ne mettra au point que douze années plus tard. En 1850, l'expérience reste purement qualitative et ne débouche sur aucune estimation de la vitesse absolue de la lumière. Ce n'est d'ailleurs pas le but recherché. Il est également intéressant de comparer la longueur des bases utilisées respectivement par Fizeau et par Foucault. Le premier se sert du trajet Suresnes-Montmartre-Suresnes, soit une distance d'environ 17 kilomètres, alors que le second réalise son expérience dans un laboratoire installé au premier étage de l'appartement de Madame Foucault-mère donc avec une base n'excédant pas quelques mètres. Force est donc bien de convenir qu'en l'espace d'une année, la technique des pièges à lumière a singulièrement progressé et ce ne sera pas sans incidence sur la suite de l'histoire.



Foucault n'envisage pas d'en rester là, et dans la foulée il projette, toujours au moyen de la technique du miroir tournant, d'aborder le problème de la détermination de la vitesse absolue de la lumière. Il travaille à améliorer son dispositif, en particulier en ce qui concerne la précision du contrôle de la rotation du miroir. Mais voilà que dès janvier 1851, un nouveau démon s'empare de lui ; il abandonne son laboratoire, descend dans sa cave, y installe un pendule et regarde "tourner" la Terre. La suite..., c'est le "pendule de Foucault", installé à l'Observatoire de Paris d'abord puis sous la coupole du Panthéon grâce à la générosité du Prince-Président et à l'ingéniosité de Gustave Froment. Ce sera ensuite le gyroscope en 1852 et la théorie des mouvements gyroscopiques qui seront suivis par ses travaux concernant l'amélioration des télescopes. Il faudra attendre le début des années 1860 pour voir Foucault remettre sur le métier son projet de mesure de la vitesse absolue de la lumière.

En 1861 Le Verrier, alors directeur de l'Observatoire de Paris, dégage des crédits destinés à permettre à Foucault de reprendre ses travaux relatifs à la mesure de la vitesse de la lumière et celui-ci va faire appel à deux collaborateurs, Gustave Froment, bien sûr et Aristide Cavaillé-Coll (1811-1899). Ce dernier, curieusement n'appartient ni au monde de la physique ni à celui de l'industrie naissante, c'est un facteur d'orgues déjà bien connu à l'époque. D'aucuns se demanderont ce qu'un facteur d'orgues peut bien faire à l'Observatoire et quelle contribution ses talents professionnels sont susceptibles d'apporter à la nouvelle expérience entreprise par Foucault. En 1850 le miroir tournant était entraîné par une turbine à vapeur mais ce dispositif avait montré ses limites. Cavaillé-Coll, lui, est de par ses activités, spécialiste en matière de soufflerie et, à la demande de Foucault, il imagine et construit une soufflerie à haute pression qui assurera la rotation de la turbine solidaire de l'axe du miroir tournant. Il s'agit d'ailleurs de la turbine construite par Froment pour l'expérience de 1850 mais en 1862, la régularité de la rotation consécutive à ce dernier perfectionnement, régularité désormais contrôlée avec toute la précision nécessaire par stroboscopie est incontestablement

supérieure à ce qu'elle était alors. Autre amélioration apportée à l'expérience de 1850, la longueur du trajet lumineux est portée à une vingtaine de mètres grâce à un ensemble de miroirs fixes. Si l'on compare les technologies utilisées respectivement par Fizeau en 1849 et par Foucault en 1862, les progrès accomplis par l'instrumentation entre ces deux dates sont tout simplement considérables.

Tout comme la roue dentée de Fizeau, le miroir tournant de Foucault appartient au patrimoine historique de la physique et cette expérience réalisée en septembre 1862 a fait l'objet d'innombrables descriptions dans tous les manuels d'optique. Aussi nous limiterons-nous à en donner le principe. La lumière émise par une source S est réfléchi par un miroir tournant T, dont l'axe de rotation coïncide avec le centre de courbure d'un miroir sphérique concave M. Une lentille L donne de cette source une image S' qui se forme sur le miroir concave. Lorsque le miroir T tourne, l'image S' balaye le miroir M. Si le miroir tournant n'existait pas, cette image se formerait en un point S₁ sur la circonférence C de centre T et de rayon D = TM. Lorsque la lumière réfléchi à l'aller sur le miroir T revient sur celui-ci après réflexion sur le miroir sphérique M, il s'écoule un temps t, celui nécessaire à la lumière pour franchir la distance 2D. Au cours de cet intervalle de temps, le miroir T a tourné d'un certain angle β et il donne de S' une image S₂ située sur la circonférence C. La séparation angulaire α entre les deux images S₁ et S₂ a une valeur double de celle de l'angle β . Si T tourne avec une vitesse constante, l'angle β garde une valeur constante et il en est de même pour l'angle α et l'image S₂ reste fixe pendant que l'image S' balaye le miroir concave M. Au retour les rayons, lumineux réfléchis traversent la lentille L et forment de la source S une image S'' qu'une lame semi-réfléchissante rejette sur le côté. De la mesure de l'angle α , Foucault peut déduire à partir de considérations géométriques élémentaires, la vitesse de la lumière qu'il trouve égale à 298 000 kilomètres par seconde. Cette valeur est plus proche de celle déterminée de nos jours par des méthodes plus modernes que la valeur obtenue par Fizeau, qui pendant

plusieurs années continue à utiliser sa roue dentée. Ce faisant, il attribue à la lumière une vitesse supérieure à 300 000 kilomètres par seconde pouvant même atteindre 315 000 kilomètres par seconde lors de certains essais. La raison de cette surestimation de la vitesse de la lumière par Fizeau réside essentiellement dans la difficulté qu'il y a pour l'opérateur de déterminer visuellement le moment où l'intensité lumineuse reçue est minimale. Il aurait fallu pour remédier à cet inconvénient que Fizeau puisse disposer d'un détecteur de lumière impersonnel, photoélectrique par exemple, mais de tels détecteurs ne feront leur apparition que beaucoup plus tard. Quant à Foucault, il a l'avantage d'avoir mis au point une méthode reposant avant tout sur des mesures angulaires lesquelles, en 1862, ne posent plus de problèmes techniques majeurs.

Les déterminations expérimentales de la vitesse de la lumière, que ce soit celle de Fizeau ou celle de Foucault, ont un impact immédiat sur la connaissance de l'échelle des distances en astronomie.

Jusqu'au milieu du dix-neuvième siècle, la distance de la Terre au Soleil, c'est-à-dire l'Unité-Astronomique, sur la connaissance de laquelle reposent encore aujourd'hui toutes les mesures de distance dans l'univers, n'est connue qu'indirectement, à partir de la détermination de la parallaxe de Mars (Cassini en 1672) et de l'observation des transits de Vénus sur le disque solaire (méthode proposée par Edmund Halley au dix-septième siècle et mise en oeuvre lors des transits de 1761 et 1769). A cette époque on attribue à l'Unité-Astronomique une valeur de l'ordre de 146 millions de kilomètres. C'est un résultat remarquablement précis, compte tenu des difficultés rencontrées pour l'obtenir. Ce qu'il est intéressant de souligner, c'est que dès lors que la vitesse de la lumière est connue avec précision, s'offre la possibilité de déterminer la distance Terre-Soleil, d'une manière qui n'est plus tributaire de mesures angulaires puisqu'on va faire appel à un résultat tout nouveau en physique : l'effet Doppler-Fizeau.

Le 22 septembre 1862 Foucault présente à l'Académie des Sciences un mémoire relatif à sa mesure de la vitesse

se de la lumière et une semaine plus tard exactement, Jacques Babinet (1794-1872), alors astronome-adjoint au Bureau des Longitudes, annonce devant le même auditoire qu'à partir de la mesure de Foucault, il est parvenu à une détermination précise de la distance Terre-Soleil. Adeptes de la spectroscopie naissante, alors qu'elle n'est pas encore entrée dans les laboratoires, il accorde une attention particulière aux spectres solaire et stellaires et n'ignore rien des travaux de Fizeau concernant les décalages spectraux résultant du mouvement relatif de la source lumineuse et de l'observateur. Observant le spectre d'une étoile, il constate que ses raies subissent une variation périodique de longueur d'onde avec une période égale à une année. Ce phénomène qui atteint son amplitude maximale si l'étoile est contenue dans le plan de l'écliptique, résulte de la variation de la vitesse radiale de l'étoile par rapport à la Terre lorsque celle-ci décrit son orbite autour du Soleil. De l'étude de ce décalage, il est possible à partir de considérations géométriques de déduire que la vitesse de la Terre sur son orbite est de 29,78 kilomètres par seconde. Si l'on suppose en première approximation que le mouvement de la Terre autour du Soleil est circulaire et uniforme, on peut, connaissant la durée de l'année solaire de calculer la longueur de l'orbite terrestre et donc son rayon. Dans la conclusion de son rapport, Babinet n'hésite pas à écrire que le travail de Foucault ouvre la voie à un remaniement des distances, des dimensions, des masses et des volumes de tous les éléments du système solaire.

8 - Après Fizeau et Foucault l'aventure continue.

Hippolyte Fizeau formule un certain nombre de réserves concernant le résultat obtenu par son ami Foucault. Toutes concernent l'utilisation du miroir tournant au sujet duquel

Fizeau se pose certaines questions dans le détail desquelles nous n'entrerons pas, questions qui ne dépasseront pas le stade de leur formulation puisqu'à la suite du décès de son épouse survenu en 1863, il se retire dans son château de Venteuil et réduit considérablement son activité scientifique, passant le relais à son disciple favori, un brillant polytechnicien du nom d'Alfred Cornu (1841-1902).

A l'aube des années 1870, il est établi que la vitesse de la lumière est comprise entre 298 000 kilomètres par seconde (détermination de Foucault) et 312 000 kilomètres par seconde (valeur déduite de l'observation des éclipses des satellites de Jupiter avec les moyens de l'époque). En 1870, Cornu emprunte une réplique réalisée par Froment lui-même de la roue dentée utilisée par Fizeau quelques vingt ans plus tôt pour sa première détermination de la vitesse de la lumière. Il y apporte un certain nombre de modifications d'ordre technique qui toutes ont pour but d'améliorer la perception du moment exact où se produisent les éclipses, perception qui, rappelons-le, constitue le point faible de la mesure de 1849. Dès l'année suivante (1871), Cornu qui pense avoir résolu les problèmes en suspens, reprend l'expérience de la roue dentée avec une base de 10 310 mètres, entre l'École Polytechnique et le Mont-Valérien. Il parvient à un résultat de 298 500 kilomètres par seconde, donc très voisin de celui annoncé par Foucault avec son miroir tournant. Il semble donc qu'à ce moment, les résultats fournis par les deux méthodes "concurrentes" convergent et attribuent à la vitesse de la lumière une valeur inférieure aux fatidiques 300 000 kilomètres par seconde.

Source bibliographique :
Archives de l'Académie des Sciences. ■

Solutions des exercices Thalès et les éclipses de Soleil (p. 26).

Exercice 1 : on trouve environ 373 000 km. On peut remarquer que les quotients que l'on écrit sont égaux à environ 400 ou $1/400$, le Soleil étant 400 fois plus gros que la Lune et 400 fois plus éloigné.

Exercice 2 : il faut d'abord calculer LS (TS - TL) puis utiliser une équation d'inconnue OL. On trouve alors 376 800 km environ. L'éclipse est bien totale d'autant plus que l'observateur en France sera plus proche de la Lune que le centre de la Terre.
On aurait pu sans faire trop d'erreur assimiler OS à TS. On obtenait alors le même résultat à 10 km près. Mais il n'est pas facile à un élève de collège de comprendre pourquoi on peut utiliser une telle approximation.

Un "9" sans coquille : dur ! Alors trois...

Errata pour "1999" dans le n° 84 p. 25, avec les excuses de la rédaction.

1ère ligne : lire 17 387; 2ème ligne : lire {1997 : 1999} ; 11ème ligne : lire les 20 autres ;
14ème ligne : supprimer 44, 41, 14 ainsi que 44, 35, 27,
puis lire 42, 40, 23 ; 17ème ligne : lire (47 + 42 j) (47 + 42 j²).



ECLIPSES TOTALES LES QUASARS ENFANTS, CHERCHEURS ET CITOYENS CREEZ VOS CADRANS SOLAIRES LA PLUS BELLE HISTOIRE DE L'HOMME

Eclipses totales

Histoire, Découvertes, Observations,
par Pierre Guillermier et Serge
Koutchmy ;
préface de Jean-Claude Pecker
272 p. ; éd. Masson (158 F).

Un livre qui vient pour nous préparer à la bonne observation de l'éclipse du 11 août. Le sommaire vous en donne une idée claire, même si je me permets, en le recopiant quelques commentaires :

1 - Le Soleil, une étoile proche, son anatomie interne et externe, son fonctionnement.

2 - Observer le Soleil - Initiation, des filtres indispensables et de la préférence à l'observation du Soleil par projection. Au delà de l'initiation primaire, une révision de toutes les ressources de l'astrophysique.

3 - Eclipses de Soleil et éclipses de Lune. Tout ce qu'il faut savoir sur la mécanique céleste élémentaire. Un citoyen français en 1999 pourrait-il ignorer ce qu'un paysan sicilien savait du temps d'Archimède ?

4 - Eclipses historiques et découvertes. Depuis l'éclipse de Lune qui découragea les défenseurs de Constantinople face aux Turcs jusqu'à l'éclipse du 30 juin 1973 suivie par une équipe à bord du Concorde 001 (74 minutes de totalité !) en passant par l'éclipse du 28 mai 1919 au cours de laquelle Eddington vérifia la déviation de la lumière du fait de la courbure de l'espace au voisinage du Soleil.

5 - Observer une éclipse totale de Soleil. Chapitre essentiel pour tous ceux qui voudront profiter du spectacle du 11 août. Préparation du matériel, assurance que les moyens de protection des yeux sont disponibles, choix du site d'observation, programmation des observations, préparation du carnet de notes, de l'appareil photo...

6 - Photographier une éclipse. Conseils pratiques aussi bien pour une éclipse de Soleil que de Lune.

Annexes :

A : Energie et neutrinos.

B : Eclipses et physique coronale, annexe à ne pas manquer car le spectacle de la couronne est sûrement un des points importants de l'événement.

C : Programme de calcul des dates d'éclipses de Lune et de Soleil.

D : L'éclipse du 11 août.

E : Eclipses jusqu'en 2010.

Cet inventaire du contenu, malgré sa sécheresse, souligne l'étendue et la richesse de l'information que trouvera le lecteur dans l'ouvrage de Guillermier et Koutchmy. Plus de soixante pages passionnantes sur les éclipses historiques donnent une idée de l'importance culturelle du phénomène. Quant à vous, lecteur des Cahiers Clairaut, vous trouverez dans le chapitre 5 et l'annexe D matière à assouvir votre soif de connaissance.

Il faut féliciter les auteurs d'avoir su réunir cette documentation et de l'avoir éditée à temps, pour le plus grand profit des innombrables observateurs du 11 août. Ils ont évité une trop grande technicité et cela leur a fait manquer d'introduire et de définir la période draconitique de retour de la Lune à son nœud ascendant. Ce qui a l'inconvénient de leur faire confondre le saros avec la période de révolution des nœuds sur l'écliptique.

Pour les jeunes élèves, il est plus intéressant de retrouver le saros comme un multiple commun approché des périodes draconitique et synodique de la Lune (242 périodes draconitiques valent 6585,35670 jours ; alors que 223 lunaisons font 6585,32115 jours). Un détail que les curieux retrouveront dans le "Que sais-je" n° 940 que Paul Couderc publia à l'occasion de l'éclipse de 1961 et qui est malheureusement épuisé.

Gilbert Walusinski.

Les Quasars

par Daniel Kunth ; 128 p. collection Domino, éd. Flammarion, 1998.

L'auteur dédie son ouvrage "A mes potes du ciel". Le lecteur se sent aussitôt adopté comme auditeur privilégié d'une belle et extraordinaire histoire, le problème passionnant des quasars. Pour affronter les difficultés du sujet, Daniel Kunth sait nous conforter par quelques citations poétiques bien choisies ; exemple, Baudelaire vous parle :
*"Comme tu me plainrais ô nuit! Sans ces étoiles
Dont la lumière parle un langage connu !
Car je cherche le vide et le noir, et le nu !"*

Pas de meilleure façon d'entrer dans la relation entre quasar et trou noir.

Il y a déjà un peu plus de dix ans que Suzy Collin et Grazyna Stasinska nous avaient initiés à l'étude des quasars (cf. leur beau petit livre de la collection "Sciences et découvertes", éd. du Rocher (CC 38) et la conférence de Suzy Collin à l'occasion de notre assemblée générale 1987 (CC 41). L'étude des quasars est un des grands thèmes de recherche de l'astrophysique contemporaine. Daniel Kunth nous fait apprécier les progrès accomplis en dix ans : on a commencé par observer deux quasars, on en repère maintenant des milliers ; on trouve une parenté entre les quasars et certaines galaxies relativement proches comme les galaxies de Seyfert ; on commence à comprendre le "mécanisme" (les guillemets pour excuser le mauvais choix de ce mot) qui fournit au quasar autant d'énergie à partir d'un volume aussi réduit.

Bref, c'est merveilleux et ce n'est évidemment pas terminé. On peut faire confiance à Daniel Kunth pour nous tenir au courant des grandes découvertes à venir.

G.W.

Enfants, chercheurs et citoyens

Sous la direction de Georges Charpak, 280 p.
éd. Odile Jacob 1998 (140 F).

Si vous pensez que notre enseignement, malgré ses faiblesses et ses dé-

fauts, est encore un des meilleurs au monde, ne lisez pas ce livre qui irritera probablement votre bonne conscience. Si vous êtes persuadé qu'il y a de bonnes et belles entreprises à lancer pour réformer nos méthodes, nos ambitions, nos installations, nos organisations, si vous êtes navré que bien des efforts passés, comme ceux fournis par les militants du mouvement Freinet entre les deux guerres ou comme ceux des classes nouvelles après la deuxième, que ces tentatives et bien d'autres aussi courageusement vécues par des enseignants aux divers niveaux "de la Maternelle à l'Université", que tous ces efforts n'aient pas reçu l'accueil et les appuis qui leur auraient permis de donner tous leurs fruits, alors lisez l'introduction du livre par Georges Charpak.

Vous l'avez rencontré à la télévision, grâce au prix Nobel, son visage ouvert vous est devenu familier. Il y a dans ce savant qui n'est plus tout jeune une sorte de candeur d'adolescent qui entraîne la sympathie. Voilà un personnage, dites-vous, qui n'a aucun avenir politique, il reconnaît ses erreurs, en particulier celle d'avoir vécu le plus grand nombre de ses années de laboratoire absorbé par ses recherches et sans pouvoir se soucier comme il aurait fallu des problèmes d'enseignement pour la jeunesse. Il sait, pour l'avoir vécue, que les grandes avancées de la science font vivre une vraie fête continue pour ceux qui y participent alors qu'elles sont ressenties comme une menace ou un risque de misère pour ceux, bien plus nombreux qui ne peuvent en appréhender la portée.

La gloire venue avec le prix Nobel (1992), Georges Charpak a donc décidé de s'intéresser sérieusement aux problèmes de l'enseignement en général et de l'enseignement scientifique en particulier. Par chance et grâce à son ami et collègue Léon Lederman, autre prix Nobel de physique, il a connu et visité une belle expérience pédagogique pour les enfants de 5 à 12 ans (niveau primaire par conséquent) dans la région de Chicago, le projet "Hands on". Il a été convaincu qu'une initiation précoce aux sciences dans l'esprit et les méthodes de la recherche était possible et pouvait vivifier l'enseignement des débutants, celui que l'on osait jadis appeler primaire parce qu'il était effectivement le premier.

Le premier, donc le plus ambitieux, il s'adresse à tous. Le premier, donc celui qui requiert les meilleurs maîtres et les moyens matériels indispensables pour le plus large public populaire. Dans cet esprit, Charpak a lancé le mouvement "La main à la pâte" (cf. CC 81 p. 33). Dans ce présent ouvrage, il en présente certains développements et il élargit son projet.

Là encore, le hasard lui a fait connaître l'école de Courtney Ross à Long Island qui préconise un enseignement historique des cultures, un enseignement intégrant toutes les disciplines. Tout en sachant qu'on ne peut faire un travail pluridisciplinaire fructueux sans avoir mené à bien préalablement un travail disciplinaire. Contradiction comme il y en a mille autres sur le chemin des pédagogues et on ne leur répétera jamais assez qu'ils doivent aussi se méfier des doctrinaires.

D'ailleurs Charpak écrit : "Le doute scientifique sera une partie de la culture acquise à l'école". Rien que pour avoir posé ce sage principe et pour avoir insisté sur la priorité évidente de l'école primaire, le pédagogue Charpak, soyons-en assuré, prend le bon chemin.

Après cette brillante et sympathique introduction, le livre donne la parole au mentor Léon Lederman, et aux disciples es-pédagogie de Charpak. De quoi remuer nos neurones et de quoi choquer nos vieilles habitudes ou ces convictions que nous avons acquises à l'usage, d'années en années, au hasard des circonstances et qui, par conséquent, ne sont pas rationnellement fondées.

Première partie, Léon Lederman lui-même présente son projet de rénovation de l'enseignement scientifique dans les High Schools américaines (niveau de nos lycées), projet rédigé avec un groupe d'experts. Tableau des immenses besoins et tableau très général qui n'aurait pas pour nous très grand intérêt s'il ne renvoyait aux informations de la troisième partie.

Auparavant, la deuxième partie, "Les inédits de Vaulx en Velin", est le témoignage vécu de l'expérience "La main à la pâte" dans trois circonscriptions scolaires du département du Rhône, 55 classes réparties dans trois écoles dans un quartier urbain, dont on sait que s'y posent beaucoup de problèmes de sécurité non sans influence sur les taux

de réussite scolaire. Ici, nous avons une expérimentation en vraie grandeur. Exemple : l'exploration des sons, un véritable itinéraire de l'analyse de la complexité. Les élèves tiennent un cahier d'expériences et les maîtres attachent de l'importance à sa bonne rédaction.

Après le bilan de la première année, Charpak a organisé pour dix enseignants un voyage d'étude aux USA. Et en route pour la deuxième année à Vaulx en Velin et second voyage d'étude aux USA, cette fois pour la Teacher Academy for Mathematics and Science (TAMS) qui fonctionne comme institut de formation des maîtres, toujours à l'instigation de Lederman. Car, comme vous le pensez, toute réussite pédagogique suppose de maîtres convaincus et bien formés.

La troisième partie du livre à laquelle je faisais déjà allusion plus haut est l'histoire d'une rencontre de professeurs de prépa (lycée Saint Louis) avec l'IMSA (Académie de mathématiques et de sciences de l'Illinois), une sorte de lycée expérimental organisé par Lederman et qui a su enthousiasmer ses visiteurs français. Elèves internes, recrutés parmi des volontaires mais sans sélection particulière. Etudes menées sur trois ans (niveaux de nos Seconde, Première, Terminale). Travaux par petits groupes, principe du mentorat ; les professeurs disposent de bureaux personnels et sont présents et accessibles aux élèves à tout moment. Méthode : devant chaque problème :

- 1) Les étudiants utilisent ce qu'ils savent.
- 2) Ils identifient ce qu'ils ont besoin de savoir.

Ceux qui apprennent créent leur propre savoir. on peut toujours questionner son mentor mais les professeurs toujours présents reconnaissent qu'ils ne savent pas tout.

Au retour du voyage d'étude, passage à l'acte avec des étudiants de première année de l'ENST. De retour en prépa, création d'une banque de TIPE. Ce récit de la visite à l'IMSA est une réussite, on y sent un enthousiasme entraînant, ce qu'il faut pour animer une réforme. Soulever une montagne, peut-être pas mais réveiller un mammoth, je veux l'espérer.

La dernière partie du livre rend compte d'une enquête de Sophie Ernst, philosophe chargée de recherche au Centre National de la Recherche Pédagogique, dans une école de Tokyo. Alors que le Japon s'était inspiré en leur temps des réformes de Jules Ferry, l'orientation autoritaire du système scolaire japonais a entraîné son enseignement vers une hiérarchie de concours ce qui implique bachotage et surmenage scolaire. Alors, situation désespérée, non, puisque Sophie Ernst relate, au niveau CE2 une étude convaincante des relations solide liquide. Des locaux et des moyens importants sont mis à la disposition d'une équipe pionnière qui travaille dans l'esprit de "la main à la pâte".

Un mot pour conclure ce compte-rendu. Quand j'ai découvert, chez mon libraire ce livre "Enfants, chercheurs et citoyens" peut-être ne l'aurais-je pas acheté, titre un peu démagogique, vous ne trouvez pas ? "Sous la direction de Georges Charpak" m'a rassuré, je me méfie pourtant du culte des grands hommes. La lecture du livre m'a assuré que je devais en recommander la lecture à tous les lecteurs des CC. Depuis 1945, comme beaucoup d'autres enseignants, j'attends de grandes réformes de nos écoles, collèges et lycées. Et puis, d'années en années, des tentatives partielles, des réalisations amorcées mais jamais parachevées. Faut-il désespérer, ce livre de Charpak et de ses collaborateurs prouve que non. L'enthousiasme et la conviction active de quelques-uns entretiennent la flamme de la pédagogie vivante.

G.W.

Créez vos cadrans solaires,

Par Claude Dupré ; 62 p. en couleurs, format 22 cm x 29 cm, relié, éd. Didier Carpentier 1998 (88F).

Préface de notre collègue Gérard Oudenet. L'ouvrage donne des conseils pratiques pour la construction de cadrans simples, le cadran d'azimut, le cadran équatorial, etc. et jusqu'à un diptyque de poche. Le genre de livre à mettre entre toutes les mains.

G.W.

La plus belle histoire de l'homme

André Langaney, Jean Clottes, Jean Guilaine et Dominique Simonet ; éd. du Seuil - 95 F

Quelle belle réussite que cette série des "plus belles histoires" ! Après celle de Dieu et celle du Monde (voir les CC n°79), voici donc, racontée de façon tout aussi alerte, captivante et simple, par de grands spécialistes, celle des origines de l'homme. Le récit se fonde d'abord sur le foisonnement des découvertes les plus récentes : celles de fossiles, de grottes, de vestiges de toutes sortes. Ensuite, sur la rénovation des méthodes : elles s'appuient sur l'archéologie, mais aussi sur la physique et ses méthodes de datation ; la biologie qui fait parler les chromosomes et retrouve dans l'étude de nos gènes les traces d'un lointain passé ; la linguistique, qui établit la généalogie des dialectes ; l'ethnologie, la botanique, la zoologie ...

Premier résultat surprenant : nos gènes, ces fragments de chromosomes enfermés dans nos cellules et qui nous déterminent, s'avèrent bien peu originaux : nous sommes de proches parents de l'ensemble des mammifères, et la quasi-totalité de nos gènes sont organisés comme ceux du chimpanzé. Une toute petite différence, qui suffit à fonder notre originalité : d'abord le langage - nous sommes les seuls capables d'élaborer une grammaire -, notre capacité à nous diversifier ensuite : l'espèce humaine est la seule à connaître une immense variété de comportements, de structures sociales, à suivre des normes qui ne sont plus fixées par la biologie. Et, depuis au moins 100 000 ans, nous enterrons nos morts.

Autre découverte qui se confirme, nous sommes tous issus d'un très petit groupe : au premier groupe humain, *Homo habilis*, apparu en Afrique orientale, il y a 3 millions d'années, succède sur place, un million et demi d'années plus tard, *Homo erectus* qui se se répand dans le monde entier ... pour disparaître et laisser place à *Homo sapiens* - c'est-à-dire nous - qui apparaît, il y a entre 150 000 et 100 000 ans, dans une région localisée au nord-est de l'Afrique, ou au Proche-Orient. Et ce très petit groupe - 30 000 individus -

va, en quelques dizaines de milliers d'années, peupler la terre entière. C'est la migration qui scinde la population d'humains, et la diversifie. En effet, chaque population migrante emporte son patrimoine génétique qui comprend ce qui est propre à l'espèce mais aussi ce qui est propre à chaque être individuel. La répartition aléatoire de cette seconde composante est à l'origine de la diversification des groupes. S'y ajoutent les effets de l'environnement. La couleur de la peau, par exemple, n'a pas d'origine génétique, mais une sélection due au climat : les peaux claires, sensibles au cancer de la peau, ont disparu des régions chaudes ; sous un faible ensoleillement, les peaux noires, synthétisent moins bien la vitamine D, indispensable pour fixer le calcium ; d'où leur disparition de ces zones.

Plus inattendu peut-être encore : il semble qu'une seule langue originelle ait donné naissance à toutes les autres.

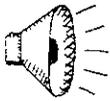
Un seul lieu pour l'origine de l'homme, une seule population d'ancêtres, une seule langue mère. Nous formons une seule espèce, nous avons tous le même répertoire de gènes. Avant d'être, chacun de nous, un être unique, nous appartenons au genre humain. Fini le support scientifique des théo-

ries racistes ! Et quelle beau support à la déclaration de l'universalité des droits humains dont nous venons de fêter le cinquantenaire !

La lecture de cet ouvrage conforte un propos du précédent sur l'histoire de la vie : nous sommes le produit d'une succession de probabilités extrêmement faibles. Souvenons-nous de ce qu'Hubert Reeves nous disait sur l'ajustement des lois physiques à la possibilité d'apparition de la vie ; ici, André Langaney fait observer, outre la faiblesse de la différence génétique qui caractérise l'espèce humaine, la vulnérabilité du très petit groupe initial d'homo sapiens, qu'une épidémie aurait pu faire disparaître.

Une question, enfin : comment expliquer que les acquis de la science nous renvoient ainsi vers autant de mythes fondateurs ? Suggestion toute personnelle : ont-il quelque chose à voir avec notre stock génétique ancestral ? Et les liens entre cette mémoire génétique et notre inconscient (collectif) ?

Lucienne Gouguenheim ■



Invitation à une émission de télévision interactive.

Le CNED organise une émission de télévision interactive (ETI) intitulée :
En attendant l'éclipse... L'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999

Le mercredi 5 mai 1999 de 14h30 à 17h.

L'objectif de cette émission est d'aider, à partir d'un exemple de phénomène naturel, à mieux comprendre comment se construit la connaissance scientifique. Si cette émission est conçue à destination des personnes concernées par les formations en astronomie et en astrophysique proposées par le CNED et l'Université Paris Sud, elle est susceptible d'intéresser également les lecteurs des CC. Interviendront en direct à partir du site du Futuroscope de Poitiers : Michèle Gerbaldi, Serge Koutchmy et Jean-Paul Zahn.

Comment participer à cette émission ?

Une émission de télévision interactive est une émission de télévision en direct, diffusée via satellite et à laquelle vous pouvez participer activement depuis l'un des sites d'accueil du réseau national. Vous pourrez trouver en trouver la liste sur minitel, avec le n° de téléphone et le nom de l'animateur dudit site. **Dans la quinzaine précédant l'émission, réservez votre place auprès du site de votre choix par téléphone ou par minitel : 3614 CNED * ETI (0,12 F puis 0,19 F la minute).** La participation à l'émission est gratuite.

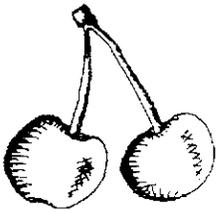
Précisez bien vos nom et numéro de téléphone ainsi que l'émission choisie. Il ne sera pas envoyé de confirmation d'inscription à l'émission.

Le jour de l'émission, vous pourrez vous présenter sur le site d'accueil choisi, une demi-heure avant l'émission. Vous serez accueilli(e) par un animateur.

Pendant l'émission, durant les périodes d'interactivité prévues à cet effet, vous pourrez interroger en direct, par téléphone ou télécopie les intervenants présents sur le plateau. L'animateur de votre site vous donnera les informations nécessaires à cet effet. En revanche, non spécialiste du sujet traité, il n'a pas vocation à intervenir sur le contenu de l'émission.

adresse électronique : <http://www.cned.fr>

("Campus électronique", puis "Téléformation", puis "Forum des usagers").



VIE ASSOCIATIVE

Roger Gouguenheim 1906-1998

Il était notre doyen, mais aux universités d'été comme dans les assemblées du CLEA auxquelles il était fidèle, nous l'appelions Roger. On recherchait l'occasion d'un entretien avec lui, sachant qu'on avait à y gagner de savoureuses réflexions. On s'émerveillait de la jeunesse de son esprit.

Ingénieur de l'Ecole Centrale, il avait fait toute sa carrière dans la région parisienne. En retraite, il se sentit chez lui au milieu des enseignants et des astronomes du CLEA. A plusieurs titres, il était vraiment des nôtres. Tout d'abord, comme père de notre présidente. Et, tout de suite après, comme compagnon exemplaire de nos travaux qui conjuguent enrichissement des connaissances et recherche des moyens de communiquer, d'enseigner pour de vrai. Un exemple : rares parmi nous ceux qui ont étudié tous les exercices du gros livre **Quantique** de Françoise Balibar et Jean-Marc Levy-Leblond. Roger, tranquillement, discrètement, dans sa studieuse retraite l'avait fait.

Pour l'Université d'été de 1982, je m'étais engagé à traiter le sujet "L'astronomie, couveuse des mécaniques". Mais, à la dernière minute, une indisposition me mit dans l'incapacité d'assurer l'exposé. A l'improviste, Roger Gouguenheim s'en chargea. Et il fit encore mieux puisque, peu après, le CLEA publia son remarquable ouvrage **Une étape de la physique, la relativité restreinte**, le fascicule 7 du catalogue de nos publications.

Roger Gouguenheim aimait le climat convivial du CLEA qui correspondait à ses goûts et à son tempérament : insatiable curiosité intellectuelle, désir de comprendre en profondeur et besoin de communiquer, une ancienne prédilection pour l'enseignement. En ce sens, il a vécu une belle retraite : jusqu'au bout, il est resté lucide, actif, chaleureux. Ses compagnons du CLEA l'aimaient bien et ne l'oublieront pas.

G.W.

L'université d'été de l'EAAE

BRIEY (près de Metz)

du 8 au 14 août 1999

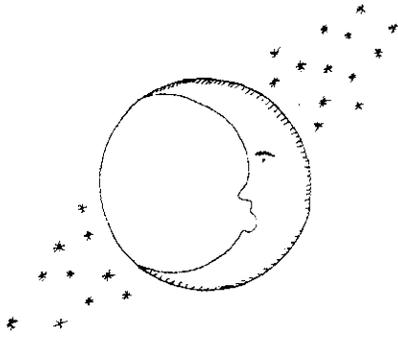
Les thèmes de travail sont centrés sur l'éclipse de Soleil du 11 août. Cette Université doit réunir 50 professeurs de 17 pays européens.

Inscrivez vous et invitez vos amis d'Europe
à le faire sur le site:

www.algonet.se/~sirius/eaae/summerschools.html

Vous pouvez obtenir tous renseignements auprès de :

Frédéric Dahringer :
8, rue Albert Camus 29300 Quimperlé.
téléphone et télécopie : 02 98 39 21 21
adresse électronique :
frederi.dahringer@wanadoo.fr



Un amas stellaire en voie de dispersion sous l'œil du VLT

Lucette Bottinelli

Un groupe d'astronomes de l'ESO a observé pour la première fois, grâce au premier miroir de 8,2 m du VLT, un amas stellaire très vieux du halo de notre Voie lactée et montré qu'il est en train de "s'évaporer" et a déjà perdu ses étoiles les plus faibles. Ce résultat vient conforter les théories de l'évolution du halo de notre Galaxie impliquant une perte progressive des étoiles appartenant aux amas globulaires au profit du halo de la Galaxie.

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Où en est le VLT ?

Le Very Large Telescope (VLT) construit par les européens de l'Observatoire Européen Austral (ESO) sur le site du Paranal au Chili, a sa première unité (UT1) - un télescope de diamètre 8,2 m - qui est entrée en fonctionnement (on parle de sa "première lumière" astronomique) à la fin mai 1998. Depuis s'y déroulent de nombreuses activités de tests techniques, de campagnes d'observations astronomiques du programme de vérification, d'installation des premiers instruments focaux : ISAAC (Infrared Spectrometer And Array Camera) installé en novembre 1998, FORS1 (FOcal Reducer/low dispersion Spectrograph) en cours d'évaluation finale. Par ailleurs, la construction des trois autres télescopes (UT2 dont la "première lumière" est prévue en mars 1999, UT3 en 2000 et UT4 en 2001) se poursuit activement.

On pourra trouver des informations et les premières données, images et spectres produits par le télescope UT1, sur le site général de l'ESO à l'adresse suivante : <http://www.eso.org> et directement les communiqués de presse à l'adresse : <http://www.eso.org/outreach/press-release/>

Les amas globulaires et le halo de la Voie lactée.

Le halo de la Voie lactée est la région à peu près sphérique qui entoure le disque plat avec une structure spirale dans lequel sont concentrées l'essentiel des étoiles et des nébuleuses du système - la Galaxie - dans lequel nous vivons. Les observations des mouvements dans notre Galaxie montrent que la masse du halo est bien supérieure à celle des étoiles observées dans ce halo ; celui-ci doit contenir une part importante de "masse sombre" dont la nature n'est pas encore élucidée. A noter que ce phénomène est aussi observé dans les autres galaxies.

Les objets les plus brillants dans le halo sont les amas globulaires. Ce sont de vastes groupements sphériques d'étoiles qui se sont constitués dans les premières phases de la formation de la Voie lactée, il y a 12 à 14 milliards d'années, à partir de la contraction gravitationnelle d'un grand nuage de gaz sphérique en rotation. Les amas globulaires répartis dans le halo de matière sombre apparaissent ainsi comme les premières structures de notre protogalaxie, formées par suite des fortes interactions gravitationnelles. Des processus de capture de la matière (ou encore accréation) d'autres galaxies naines proches auraient pu également conduire à la formation ultérieure d'amas globulaires dans le halo.

On comprend que l'observation directe des principaux composants du halo est une étape décisive pour comprendre la formation et l'évolution de notre Galaxie.

Les observations de l'amas NGC 6712 au VLT.

NGC 6712 est un énorme essaim d'étoiles, situé dans la direction de la constellation de l'Écu de Sobieski vers le Centre galactique, à une distance de 23 000 a.l. (années de lumière) environ de nous. Compte tenu de sa faible latitude galactique (-6°) et d'une distance du système solaire au Centre galactique de 27 700 a.l., NGC 6712 est proche du Centre galactique puisqu'il n'en est éloigné que de 5 600 a.l. environ. Il contient près d'un million d'étoiles, toutes plus faibles que le Soleil et c'est l'un des amas globulaires les plus vieux de notre Galaxie.

Comme les quelques 150 autres amas globulaires connus du halo, il décrit une orbite elliptique autour du Centre galactique, qui périodiquement, lui fait traverser les régions plus peuplées du disque avant de s'élever dans le halo, au dessus et en dessous du disque. En moyenne les amas globulaires traversent le disque galactique tous les 100 millions d'années. L'orbite de NGC 6712 est comparativement petite et l'amas passe particulièrement près du Centre galactique ; sa période de révolution étant relativement courte, ces passages proches du Centre galactique se produisent assez fréquemment. On estime que NGC 6712 a traversé le plan galactique récemment, il y a seulement quelques millions d'années.

Des images CCD ont été obtenues avec la caméra test équipant le télescope UT1. Les clichés ont été réalisés en bleu, vert et rouge dans cinq champs au centre de l'amas et au voisinage ; chaque champ couvrant une zone angulaire de $1.5'$ de côté (compte tenu de la distance de l'amas, cela correspond à une longueur de 10 a.l. environ), avec une résolution de 3000×1851 pixels et des poses de 15 min. A noter que les conditions atmosphériques d'observation étaient favorables avec une excellente qualité d'image (diamètre de la tache de

diffraction de $0,5''$). Au total il a été possible de résoudre l'amas en obtenant les images individuelles des étoiles et cela pour des étoiles très faibles.

Un déficit d'étoiles faibles dans NGC 6712.

La détermination précise des magnitudes et des couleurs des étoiles très faibles de l'amas a pu être menée à bien dans un domaine allant des étoiles plus faibles que le Soleil jusqu'à celles 100 fois moins lumineuses que le Soleil. La masse des étoiles les plus brillantes dans cet intervalle est d'environ 80% de la masse du Soleil, alors que pour les plus faibles elle est de 30%. L'analyse de la proportion d'étoiles d'une masse donnée en fonction de la masse - ce que l'on appelle "la fonction de masse" - comparée à celle connue pour les amas globulaires classiques, montre qu'il y a dans NGC 6712 un net déficit d'étoiles de faible masse. Ainsi, dans les amas globulaires classiques les étoiles avec une masse de un tiers de celle du Soleil sont au moins quatre fois plus fréquentes que celles analogues au Soleil ; dans NGC 6712, c'est l'effet opposé qui est observé et de manière générale, la proportion d'étoiles faibles diminue - au lieu d'augmenter - lorsque l'on considère des masses de plus en plus faibles. Dans NGC 6712, il y a un déficit de plus d'un facteur deux pour ces étoiles de faible masse.

Où sont passées toutes ces étoiles faibles ?

Le processus de formation des étoiles par fragmentation au sein des nuages moléculaires géants conduit toujours à former beaucoup plus d'étoiles de faible masse que de grande masse. La fonction de masse observée pour NGC 6712, présentant un déficit en étoiles faibles, doit s'expliquer par un effet qui "enlève" préférentiellement les étoiles faibles de l'amas.

On peut prévoir théoriquement que les amas globulaires sont particulièrement vulnérables à la dislocation induite par les forces de marée intenses régissant dans la protogalaxie ; ce processus conduit à ce que l'on appelle une

"évaporation" des étoiles de l'amas : les étoiles elles-mêmes restent intactes mais ne sont plus gravitationnellement liées à l'amas et se dispersent dans le halo. De ce fait, les amas actuels ne doivent constituer qu'une petite fraction de la population d'origine. Cela implique également que l'essentiel des étoiles actuellement observées dans le halo sont des étoiles qui ont été "délogées" d'amas globulaires à des époques antérieures.

L'explication la plus naturelle de ces nouvelles observations au VLT, est que beaucoup - peut-être la plupart - des petites étoiles de NGC 6712 ont été perdues par l'amas et se déplacent maintenant dans le halo de la Galaxie.

Cette interprétation est d'autant plus plausible que NGC 6712 a eu l'occasion de plonger fréquemment dans les régions denses de notre Galaxie près du centre et du bulbe ; ce qui l'a soumis à de gigantesques "chocs gravitationnels" qui ont eu pour effet de le délester surtout de ses étoiles les plus faibles et les plus légères, puisque ces dernières sont plus faciles à extraire que les étoiles massives.

Les perspectives

Les observations de NGC 6712 au VLT ont permis de mettre en évidence pour la première fois sans ambiguïté, le phénomène "d'évaporation" des étoiles d'un amas, grâce aux excellentes performances du VLT et à la situation privilégiée de NGC 6712 qui traverse des régions particulièrement denses du plan galactique. Les développements ultérieurs devraient maintenant permettre d'atteindre des étoiles encore plus faibles pour préciser la forme de la fonction de masse vers les plus petites masses et dans des amas globulaires ayant des orbites variées traversant des régions plus ou moins denses de notre Galaxie. De telles mesures fourniront des informations clés sur l'histoire de la formation et sur l'évolution de la structure de notre Galaxie. A suivre... ■

Documents pour les fiches CLEA BELIN

DCB

20 exemplaires
(70 F-65 F)

Transparents animés pour rétroprojecteur

(55 F-50 F)

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
(75 F-65 F)

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

DIAPPOSITIVES

Chaque série de 20 vues avec
son livret de commentaires
(65 F-55 F)

Publications du CLEA

Pour chaque publication le deuxième prix
est le tarif réduit pour les abonnés
Les prix indiqués le sont port compris



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 68 F-48 F)
- HS5** Gravitation et lumière, niveau terminale
(83 F-73 F)
- HS6** L'âge de la Nébuleuse du Crabe
avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies
niveau lycée
(110 F-100 F)
- HS7** Étude du spectre du Soleil
(58 F-50 F)
- HS8** Étoiles variables (à paraître en 99)
(80 F-70 F)

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

Cours polycopiés d'astrophysique

(Maîtrise de l'université
Paris XI-Orsay)

P1

Astrophysique générale
(63 F)

P2

Processus de rayonnement
(30 F)

P3

Structure interne
et évolution des étoiles
(35 F)

P4

Astrophysique solaire
(35 F)

CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 1999

Cotisation simple au CLEA pour 1999	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 85 à 88	140 F
Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT ET cotisation au CLEA pour 1999	190 F
Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
Le numéro des Cahiers Clairaut	45 F

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

COLLECTIONS DES **CAHIERS CLAIRAUT**

- C1 Collection complète du n° 1 au 80 (1 300 F)
- C88. C89. Collection 1988 ou 1989 (chaque 90 F)
- C90 à C98 (chaque 100 F)

Adresser adhésions,
abonnements ou commandes à

CLEA Catherine Vignon
21 rue d'Anjou
92 000 Asnières

Chèque à l'ordre du CLEA

Publications...

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

1- L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	43 F
2- Le mouvement des astres	53 F
3- La lumière messagère des astres	58 F
4- Naissance, vie et mort des étoiles	63 F
6- Univers extragalactique et cosmologie	58 F
7- Une étape de la physique, la Relativité restreinte	108 F
8- Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	68 F
9- Le système solaire	88 F
10- La Lune	63 F
11- La Terre et le Soleil	78 F
12- Simulation et astronomie sur ordinateur	48 F

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 (75 F)
Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

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

dépot légal : 1^{er} trimestre 1979
numéro d'inscription CPPAP : 61600
Prix au numéro : 45 F