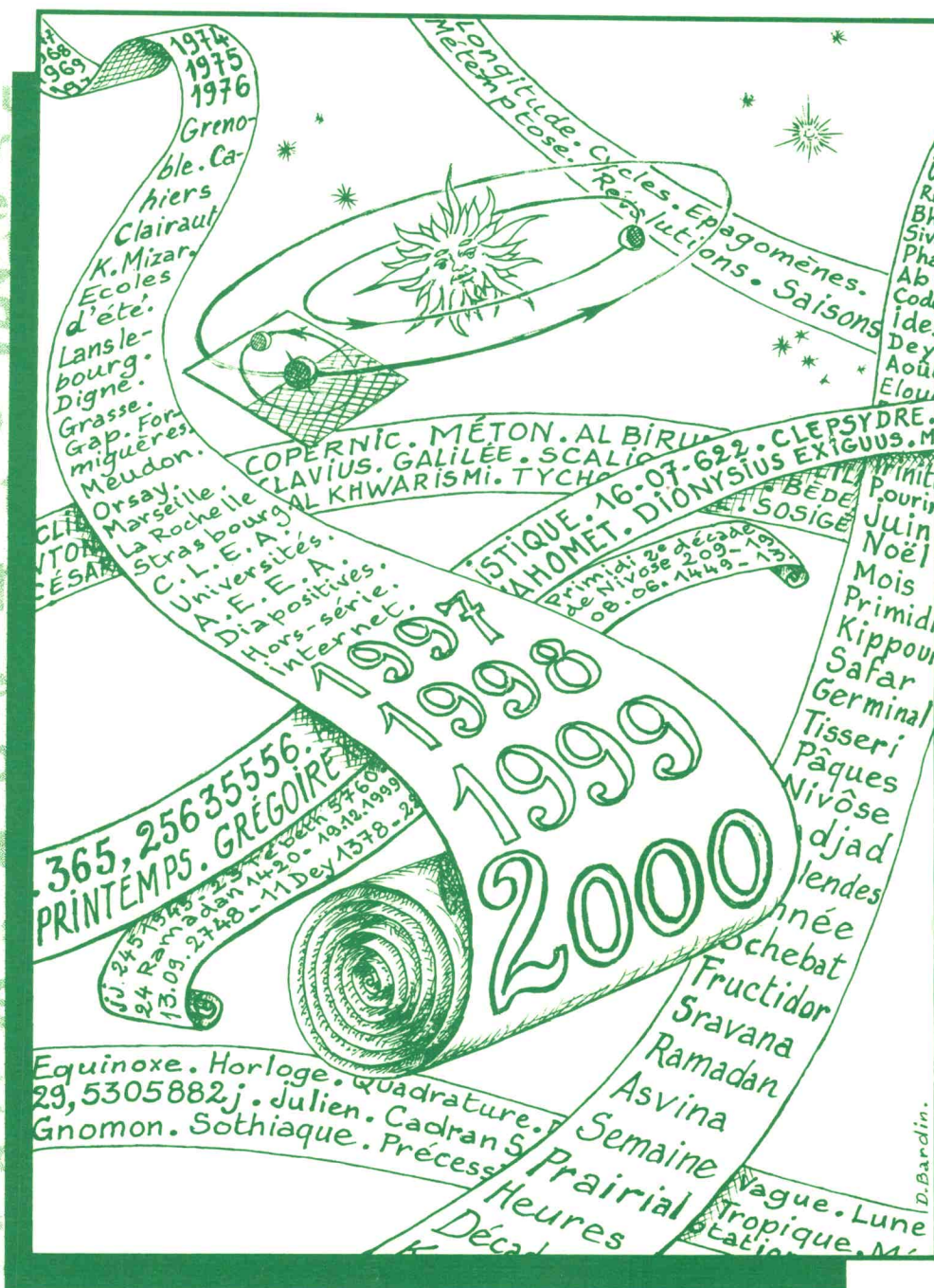


bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lect
pour
et se
HIS
Ré
d'o
Ar
for
Réfle
deb
Inf
élève
Vie
Tex
exerc
Articles
Les p



numéro 91 - AUTOMNE 2000

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 91405 Orsay cedex
Tel / Fax : 01 69 15 63 80
Le CLEA est présent sur Internet à l'adresse :
<http://www2.ac-nice.fr/clea>

Bureau du CLEA pour 2000

Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER
Evry SCHATZMAN

Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents

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

Rédactrice-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

EDITORIAL

Nous espérons que vous avez passé d'excellentes vacances et que vous êtes pleins d'énergie pour cette nouvelle année scolaire.

Trop peu de lecteurs nous écrivent pour nous donner leur avis sur ces Cahiers : y trouvez-vous ce que vous cherchez ? Que souhaitez-vous ? Les articles arrivent de manière irrégulière et il n'est pas toujours facile de faire des numéros équilibrés : par exemple nous n'avons plus d'article d'histoire en réserve et nous sommes toujours à la recherche d'articles pour la rubrique "avec nos élèves". Pensez que ce que vous faites en classe peut être utile à d'autres et vaut la peine d'être publié et n'hésitez pas à nous parler des livres qui vous ont intéressés.

Daniel Kunth, astronome à l'I.A.P., nous parle d'un sujet passionnant : les quasars.

Jean-Noël Terry propose une lecture amusante et instructive d'un texte de Daudet. Des collègues de Nantes présentent les activités effectuées avec des premières L. Des élèves de René Cavaroz, lauréats du concours Lanfranc-Laënnec exposent leur beau travail sur la spectroscopie. Jean Ripert consacre la fin de son feuilleton aux distances des étoiles et des galaxies.

Michel Montangerand nous offre une jolie maquette d'un calendrier perpétuel, facile à utiliser.

La rubrique histoire nous fait découvrir des scientifiques peu connus, Emmanuel Liais par René Cavaroz et Jeremiah Horrocks par Gilbert Walusinski.

Une visite au musée des arts et métiers, par Martine et Michel Bobin, un nouveau problème proposé par Pierre Causeret et des lectures pour la Marquise complètent ce numéro.

Enfin Lucette Bottinelli et Lucienne Gouguenheim rendent hommage à Jean Heidmann décédé brutalement cet été.

La Rédaction



les Cahiers Clairaut

Automne 2000 n°91



Article de fond

Les quasars

p. 2



Avec nos élèves

Quand l'amour est aveugle

(niveau collège)

p. 10

Mesures de distances

(niveau lycée)

p. 12

Astronomie en 1^e L

p. 15

Spectroscopie solaire

(niveau lycée)

p. 18



Réalisations d'objets

Le calendrier perpétuel

p. 24

Histoire



Emmanuel Liais

p. 29

N'oublions pas les Jeremiah Horrocks

p. 31

Reportages



Le musée des arts et métiers

p. 32

Remue-ménages



p. 34

Lectures pour la Marquise



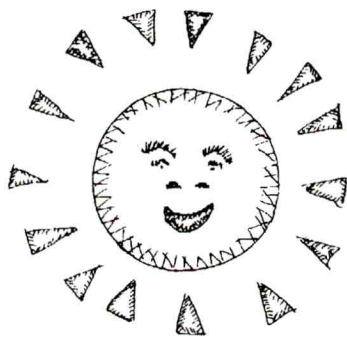
p. 36

Vie associative



Jean Heidmann, notre ami

p. 39



Les quasars

Daniel Kunth, I.A.P.

Lointains, compacts et pleins d'énergie, les quasars ont révolutionné notre vision de l'Univers, engageant une vraie course à ces quasi-étoiles qui reste une magnifique page de l'astrophysique.

La découverte d'objets célestes ayant l'aspect d'une étoile mais libérant plus d'énergie que des millions de milliards d'entre elles a interrogé les astronomes. Quelle est la source d'énergie qui fait briller ces astres ? Les quasars posent aux astronomes de nouvelles questions sur la structure de l'Univers ou la naissance des galaxies.

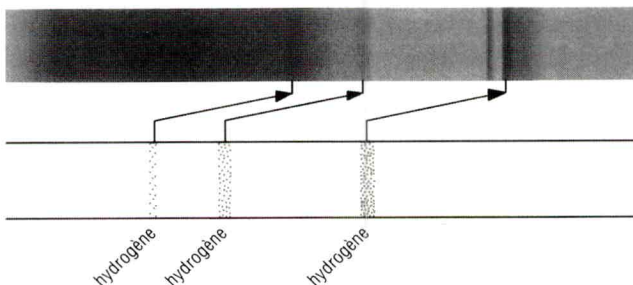
1 - Le contexte de la découverte.

Au début de l'année 1963 dans la revue *Nature*, on signale des astres mystérieux qui vont agiter la communauté des astronomes. Ces astres dénommés au départ "quasi stellar radio sources" seront immédiatement populaires sous le nom de "quasars".

Ils furent découverts par Marteen Schmidt, astronome hollandais, qui à l'observatoire du Mont Palomar fut surpris par l'étrangeté du spectre de 3C273, enregistré comme 273^e source radio dans le troisième catalogue de l'observatoire de Cambridge en Angleterre.

Schmidt remarqua de nombreuses raies brillantes le long de la plaque photographique qu'il venait d'obtenir, sans parvenir à les identifier. D'ordinaire dans le spectre d'une étoile, on trouve des raies sombres mais rarement de brillantes.

Marteen Schmidt finit par identifier trois raies brillantes comme celles de l'atome d'hydrogène, mais décalées, très loin de leurs positions attendues vers la partie rouge du rayonnement visible. Schmidt songea aux galaxies, vastes ensembles composés de milliards d'étoiles, de poussière et de gaz, très semblables à notre Voie lactée, et dont les spectres souffrent d'un décalage analogue mais bien moindre.



Spectre de 3C273 obtenu par Marteen Schmidt.

Il montre les trois raies de l'hydrogène décalées de 16% vers le rouge.
En bas, ces mêmes raies, non décalées.

Or, plus ce décalage vers le rouge est élevé et plus une galaxie est éloignée. Ce point fondamental provient d'une correspondance décalage-distance qui traduit que l'Univers tout entier est en expansion.

Le décalage observé dans 3C273 est de 16%, c'est à dire que la position nominale des raies de l'hydrogène (c'est à dire la longueur d'onde) se trouve décalée de 16% vers le rouge. Les astronomes parlent aussi de "redshift" de 0,16.

En interprétant ce redshift comme une "vitesse de fuite" due à l'expansion, Schmidt parvient à une distance de 1800 millions d'années de lumière ! L'astre le plus éloigné connu jusqu'alors ! A cette distance une étoile de notre Voie Lactée serait invisible.

3C273 renvoie donc à une époque lointaine à près de 2 milliards d'années. L'éclat apparent de 3C273 combiné à sa distance conduit à une luminosité intrinsèque époustouflante. Cette luminosité dépasse 5 millions de millions de fois celle du Soleil ou plus sobrement 1000 fois celle de la Voie lactée ! L'événement fait grand bruit. Les débats les plus vifs opposeront la communauté scientifique pendant des mois, des années, pour déchiffrer la nature des quasars.

2 - Sujets de polémique.

2.1 - La distance.

Pour comprendre les termes du débat, il est nécessaire de faire un retour sur la notion de distance.

Les distances de l'Univers nous font complètement changer d'échelle par rapport à notre expérience quotidienne : dans notre Galaxie, le Soleil est à 8 minutes-lumière, Pluton à 5 heures, l'étoile polaire à 600 ans... La lumière de l'étoile polaire est contemporaine des Grandes Découvertes et de celle de l'imprimerie par Gutenberg. Pour venir du centre de la Voie lactée, la lumière met 30 000 ans et ce ne serait qu'un saut de puce dans l'Univers. Au-delà de notre Galaxie, il lui faudrait 200 000 ans pour atteindre les Nuages de Magellan, et deux millions d'années pour rejoindre la Galaxie d'Andromède, nos plus proches voisi-

nes. Nous devons parcourir quatre millions d'années-lumière pour atteindre l'amas de la Vierge qui est un grand rassemblement de quelques milliers de galaxies. Au delà de 15 milliards d'années-lumière, l'Univers est invisible car sa lumière ne nous a pas encore atteints. Ce sont les limites de l'Univers observable.

3C273 avait de quoi faire rêver le plus traditionnel des astronomes. Dans le cas des quasars, l'évaluation des distances reposait uniquement sur le "décalage" vers le rouge, pierre angulaire de la théorie du Big Bang, qui en 1962 compte déjà de nombreux partisans.

A l'opposé, une minorité significative refuse l'expansion au profit d'un univers atemporel dit "stationnaire". L'astronome anglais Fred Hoyle sera l'un des défenseurs de l'Univers "non créé", affirmant qu'une origine de l'Univers n'a pas de sens.

Pour les premiers, il ne fait aucun doute que les quasars sont des objets lointains, témoins d'un Univers encore jeune. Le deuxième clan juge cette position inacceptable et tentera par tous les moyens de démontrer que les quasars entretiennent des relations fortes, non avec l'Univers lointain, mais avec les galaxies les plus proches.

Chip Arp, observateur hors pair, obtient des clichés photographiques d'une étonnante qualité, et passe maître dans l'art de découvrir des galaxies particulières et des arrangements célestes inattendus. Il découvre ainsi quelques couples quasars-galaxies semblant très rapprochés, comme s'ils étaient physiquement associés dans le ciel alors que leurs décalages spectraux (donc leurs distances selon la théorie de l'expansion !) sont tout à fait discordants.

Les experts s'affronteront précisément sur la valeur à accorder à ces "effets de perspective" et invoqueront les lois du hasard.

Aujourd'hui, les progrès de l'observation aidant, nous observons des galaxies avec des décalages analogues à ceux des quasars. Les grands décalages des quasars ne sont plus "anormaux". Du coup, chacun admet la portée cosmologique des quasars : en raison même de leur luminosité, ils sont visi-

bles à de très grandes distances et permettent de remonter dans le temps.

2.2 - L'énergie.

Nous savons que ces objets ne sont pas des étoiles, tant ils sont lointains et lumineux. Car si les quasars ont un éclat apparent très faible (il s'agit de la lumière reçue) et sont invisibles à l'oeil nu, ils sont à la source plus lumineux que la plus brillante des étoiles du firmament. Leur image toute ronde collectée sur un cliché photographique nous renseigne très peu sur leur véritable taille, car la turbulence de l'atmosphère terrestre a la mauvaise habitude d'étaler la lumière de tous les astres que l'on observe.

Par bonheur, l'éclat des quasars varie au cours du temps. Ils manifestent des variations d'éclat avec une rapidité parfois déconcertante ! Le plus souvent elles se manifestent le long de quelques mois ou plus, mais parfois peuvent être beaucoup plus rapides. L'éclat d'un quasar peut doubler voire quintupler en l'espace de quelques jours voire de quelques heures ! Des variabilités, venant d'objets dont on ne perçoit pas les dimensions, recèlent une information décisive sur leur taille. La dimension de la région émettrice est inférieure ou égale au produit de la durée de la variation observée par la vitesse de la lumière. Autrement dit, un quasar changeant d'éclat en un jour a une dimension de l'ordre d'un jour-lumière soit : $300\,000\text{ km s}^{-1} \times 3600 \times 24\text{ s}$ i.e. 26 milliards de kilomètres. Le gros de son rayonnement jaillit d'une minuscule région (à l'échelle astronomique) comparable à celle de notre système solaire. Comment d'un si petit volume se dégage-t-il une énergie mille fois supérieure à celle de notre Galaxie ? Avant de le comprendre, avançons davantage dans les propriétés des quasars.

3 - A la recherche d'autres quasars.

Très vite les astronomes se sont employés à rechercher d'autres quasars, fortement émetteurs d'ondes radio, à l'instar de 3C273.

A Jodrell Bank en Angleterre et à Parkes en Australie les grands radiotélescopes s'activeront sans relâche.

Succéderont alors à 3C273 des quasars beaucoup plus décalés. Le décalage est de 1 si la longueur d'onde est doublée (décalage de 100 %) le décalage est de 2 si la longueur d'onde est triplée, etc.... A des décalages croissants correspondent bien entendu des "vitesses de fuite" et des distances plus grandes.

En fait, il s'avère que 90% d'entre eux n'émettent pas d'ondes radio, qui du coup, deviennent une caractéristique presque mineure du phénomène quasar. La spectaculaire découverte des premiers quasars révéla au monde une propriété exceptionnelle et non générale de ces astres nouveaux.

Des premiers catalogues jusqu'à aujourd'hui nous pouvons recenser plus de 10 000 quasars, la plupart d'entre eux sont beaucoup plus lointains que 3C273, et si l'ensemble du ciel était exploré, au moins un million seraient accessibles à l'observation.

Jusqu'où peut-on remonter le temps ? Rappelons-nous qu'un décalage spectral vers les grandes longueurs d'onde est une indication de plus grand éloignement de la source tant dans l'espace que dans le temps.

Au delà de 13 milliards d'années, soit un décalage spectral de 3, leur nombre commence à diminuer, passé 4 soit vers 13,5 milliards d'années quelques dizaines de quasars s'ajoutent aux autres, il n'y a pas de quoi pavoiser. Le décalage spectral le plus élevé atteint presque 5 et c'est encore Marteen Schmidt et ses collègues qui s'honorèrent de ce record avec un quasar de redshift 4,92 nommé PC 1247+3406.

Pour aller plus loin encore, il faudra considérer des décalages si grands que c'est dans l'infrarouge que les astronomes aujourd'hui sondent l'Univers. Le mur des décalages 5 ou 6 n'a pas été franchi mais il s'agit probablement d'une limite de nos propres instruments.

On trouve beaucoup plus de quasars il y a dix milliards d'années qu'aujourd'hui et plus loin encore ils semblent redevenir très rares. Le sort de l'Univers sans évolution est définitivement scellé car l'Univers n'apparaît pas identique à tout moment. Il y a des époques privilégiées où les galaxies

semblent se former et où les quasars dominent. Immobilisme et stabilité ne sont pas de ce monde.

4 - Des quasars aux "galaxies actives".

4.1 - Les galaxies de Seyfert.

La complexité de l'Univers commença à se révéler dès 1924 grâce à Edwin Hubble. Nous savons aujourd'hui que les galaxies forment une immense tapisserie, constituée d'amas, regroupés en superamas, le tout festonnant de véritables filaments qui délimitent vides et coquilles. Aux très grandes distances, les galaxies sont plus nombreuses et leurs formes diffèrent de celles qui sont plus proches de nous. Cette nouvelle image du cosmos est aussi le résultat des observations du télescope spatial Hubble. Cependant, dans les années 40, les galaxies les plus proches sont mal connues. En 1943, l'astronome allemand Carl Seyfert découvre des galaxies spirales, soeurs de notre Galaxie, mais qui s'en distinguent par un noyau central très lumineux et très bleu. Les spectres de ce noyau central sont si étranges que Seyfert ne trouve pas d'explications. Il venait pourtant d'observer les mêmes raies, mais beaucoup moins décalées que celles observées par M. Schmidt des années plus tard.

Ces galaxies sont appelées "galaxies actives" car les énergies mises en jeu par la lumière émise des régions centrales sont si grandes qu'il ne peut s'agir que d'une phase courte de leur évolution.

Elles ont des propriétés qui les apparentent aux quasars dont elles ne se différencient que par leur plus faible degré d'activité.

4.2 - Les radiogalaxies.

Parmi les galaxies actives, celles qui, après la seconde guerre mondiale, furent révélées par les radiotélescopes furent nommées radiogalaxies. La radiogalaxie Cygnus A est une galaxie elliptique 100 millions de fois plus puissante que le centre de la Voie lactée, une petite galaxie elliptique pourtant assez banale en lumière visible et située à 750 millions d'années-lumière.

Curieusement, l'émission radio

provient, non pas de la galaxie elle-même, mais de deux gigantesques lobes situés de part et d'autre. Les lobes radio ont toujours des tailles supérieures à celles des galaxies qu'ils entourent. La plupart sont plus brillants vers l'extrémité opposée à la galaxie émettrice, ce sont des points chauds. Très fréquemment, on observe un long filament de matière issu du noyau, plus ou moins rectiligne, parfois tortillonné qui vient rejoindre un des lobes, voire les deux, tel un cordon ombilical.

Ces lobes sont constamment réactivés par des particules très énergétiques contenues dans les jets issus du centre des radiogalaxies.

Il existe un lien de parenté entre les quasars et certaines radiogalaxies ou galaxies de Seyfert proches, bien que celles-ci soient moins puissantes. Au musée des galaxies actives, il faudrait ajouter les blazars aussi nommés "BL Lacertae", du nom du premier d'entre eux découvert dans la constellation Lacerta en 1941. Ces objets sont encore plus difficiles à déchiffrer que les autres car leurs spectres ne présentent pas la moindre trace de raies permettant d'estimer un décalage donc une distance. On trouve aussi les OVV (objets violemment variables) capables de varier d'éclat en moins d'une heure. Enfin, les galaxies de "Seyfert" se subdivisent en deux catégories : les "Seyfert 1", aux spectres riches en raies "larges" et dont les images montrent un noyau central très lumineux bien contrasté, et les "Seyfert 2" dont les spectres ne comprennent que des raies plus étroites.

Les astronomes ont d'abord pensé que ces objets étaient de nature différente, jusqu'à ce que certains parvinrent comme nous le verrons à les rassembler sous un même concept unitaire.

4.3 - Les galaxies hôtes.

Depuis des années déjà les grands télescopes dévoilent les galaxies qui abritent les quasars en leur centre

Autour de 3C273 ont pu reconnaître les attributs d'une galaxie elliptique géante. Les galaxies de Seyfert ont été les premières explorées par le télescope spatial Hubble car elles sont plus proches. Ces galaxies spirales ou elliptiques ne sont pas nécessairement atypiques. En revanche la moitié des qua-

sars sont présents dans des galaxies en interaction rapprochée, voire dans des galaxies qui fusionnent avec d'autres. L'ensemble de ces résultats est difficile à interpréter. Leur seul point commun est que les quasars se réfugient au centre des galaxies, ordinaires ou non, lieu privilégié où l'apport de matière est maximum.

5 - Spectres et quasars

Une lumière contient un ensemble de rayonnements différents que l'on peut séparer et analyser. Ces rayonnements sont composés de photons dont l'énergie est directement proportionnelle à la fréquence. Un photon gamma transporte un million de fois plus d'énergie qu'un photon rouge, et celui-ci un million de fois plus qu'une onde radio centimétrique. D'où la nécessité pour les astronomes d'explorer toutes ces gammes, chacune exprimant des phénomènes physiques différents.

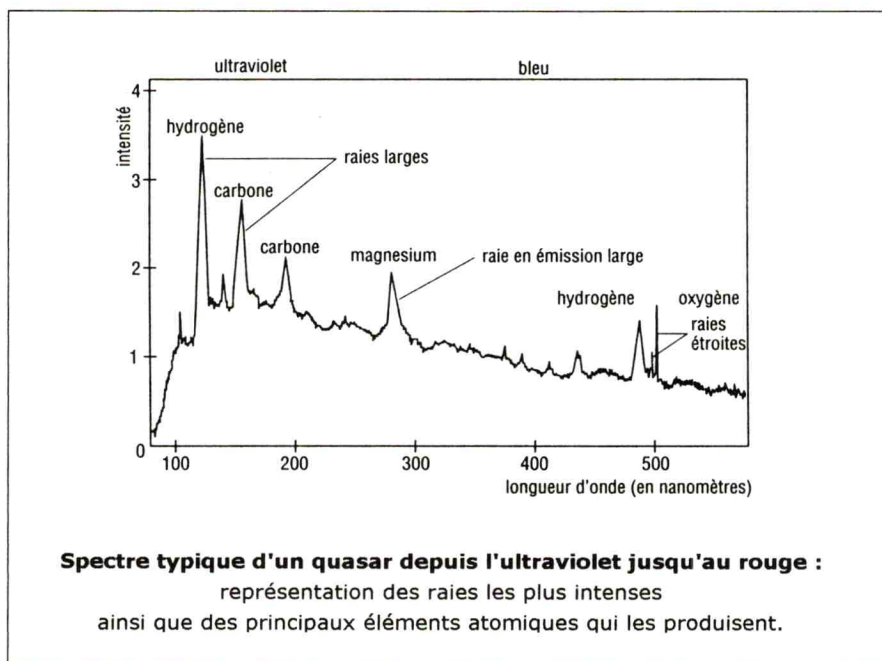
5-1 Un spectre complexe.

La couleur dominante d'une étoile exprime la température qui règne à sa surface. Une étoile chaude a une température de surface de plusieurs dizaines de milliers de degrés. Le rayonnement qui émerge domine dans l'ultraviolet. La surface du Soleil est à 5400° C et c'est pourquoi toute son énergie rayonne dans le spectre visible.

Le spectre d'un quasar, ne présente aucune des caractéristiques des étoiles. Contrairement à celles-ci, il rayonne copieusement dans toutes les longueurs d'onde, y compris dans des gammes que notre œil ne perçoit pas, c'est à dire depuis l'infrarouge jusqu'aux rayonnements les plus extrêmes, les X ou les gamma. Contrairement aux étoiles, son spectre présente également de nombreuses raies en émission (voir figure ci contre).

Le quasar est partout : là où le peintre a besoin d'une touche de couleur pour l'étoile il lui faut une palette complète pour le quasar.

La raison profonde tient à ce que les quasars offrent un monde complexe, siège de nombreux phénomènes distincts.



Leurs ondes radios proviennent de grandes quantités d'électrons qui spiralent dans un champ magnétique cosmique. Les quasars sont de véritables phares infrarouges. La présence de poussière est donc incontestable, et en plus grande abondance que dans la Voie lactée. Voilà qui reste mystérieux et sans explication définitive.

Le domaine visible est caractérisé par les raies en émission intenses et très étalées qui furent à l'origine de leur découverte. Cette largeur provient de l'altération de la fréquence des photons (effet Doppler) et permet de préciser les états dynamiques de la matière dans le quasar. Or les largeurs mesurées présument de vitesses tout à fait hors du commun atteignant fréquemment 5000 voire jusqu'à 30 000 kilomètres par seconde.

Parfois, des raies étroites cohabitent avec des raies larges. Elles proviennent de gaz extrêmement dilués dont les vitesses n'excèdent pas quelques centaines de kilomètres par seconde, de la promenade en somme !

Le rayonnement ultraviolet trahit un gaz d'au moins 100 000 degrés ou la présence d'étoiles très chaudes de grandes masses. Le rayonnement X et gamma représente à peu près 10% de l'énergie totale émise par ces objets. Aucun astre dans l'Univers n'évacue autant de rayons X. L'intensité de cette émission varie extrêmement vite (parfois en quelques minutes !), ce qui

permet d'ausculter les régions très centrales des noyaux actifs.

Les rayons X ne sont pas les plus énergétiques, ils sont concurrencés par les rayons gamma. Les quasars les émettent par de minces faisceaux collimatés qui s'échappent dans l'espace. Nous ne sommes à même de les capter que si nous nous trouvons sur la trajectoire de ces faisceaux. Cela explique que seuls quelques quasars sont détectés : les autres envoient leurs rayons gamma dans une autre direction.

5.2 - Un spectre variable.

Lorsque les chercheurs français de l'observatoire de Meudon ont annoncé des variations dans les détails spectraux d'une galaxie de Seyfert, leurs collègues américains ont tout bonnement haussé les épaules. Suzy Collin et ses collègues croyaient en leurs résultats dur comme fer. Toujours est-il que nul ne songe aujourd'hui à nier ces variations. Mieux encore, il y eut des campagnes coordonnées afin d'observer le même astre au même moment et sur de longues périodes.

Tout ne varie pas de la même manière. Ni de façon synchronisée, ni avec la même durée. Lorsque les rayons X varient en quelques minutes, la lumière ultraviolette le fait plus tardivement et un peu plus longuement, puis viennent les raies larges, le rayonnement infrarouge et enfin les raies "interdites" qui ne varient pas.

6 - La source d'énergie des quasars.

6.1 - De l'énergie à tout prix.

Quel mécanisme fournit autant d'énergie dans un volume si petit?

L'énergie nucléaire est la source que les étoiles utilisent pour briller leur vie durant. Le Soleil convertit chaque seconde 700 millions de tonnes d'hydrogène en noyaux d'hélium. Pourtant, ce mécanisme est peu efficace pour un quasar. Moins d'un petit pourcent du combustible initial devient lumineux. En un an, un quasar désintègre totalement l'équivalent de 15 fois la masse du Soleil. Si le phénomène dure cent millions d'années, 1 milliard de masses solaires doivent disparaître en lumière. Le quasar requiert cent fois plus de combustible, c'est à dire 100 milliards de Soleils ou l'équivalent de notre Galaxie. Le tout dans un tout petit volume. N'est-ce pas réhibitore ?

Il existe un mécanisme plus efficace dont les effets nous sont familiers car ils viennent de la gravitation. L'énergie de gravitation est facilement transformée au bénéfice de l'énergie cinétique. Cette méthode de récupération est souveraine d'autant plus que le corps qui attire est massif et que l'on s'approche très près de lui. Le candidat rêvé pour résoudre l'énigme des quasars est le trou noir.

Une étoile 10 fois plus massive que le Soleil peut parfaitement devenir un trou noir. Une fois à court de combustible, l'étoile termine sa vie dans l'explosion fulgurante d'une supernova. La quasi totalité de sa masse est expulsée dans l'espace. Si le résidu stellaire atteint entre 1,4 et 3 masses solaires, il s'agit d'une étoile à neutrons. Un centimètre cube d'une telle étoile a une masse d'un milliard de tonnes. Si le résidu dépasse 3 masses solaires nous avons un trou noir.

Notre Voie lactée recèle très certainement quelques trous noirs stellaires. Cygnus X-1, à plus de 6000 années-lumière de nous, est sans doute le premier trou noir stellaire découvert par le satellite Uhuru. Mais rien ne s'oppose à l'existence de trous noirs de plusieurs millions voire plusieurs milliards de masses solaires. Les former requiert simplement une colossale quantité de

matière. Au centre des galaxies on observe précisément une grande concentration d'étoiles et de grandes quantités de gaz qui migrent vers la région centrale : le noyau.

La variabilité des quasars indique des dimensions ultra compactes, voisines de celles du système solaire. Les vitesses très élevées du gaz donnant naissance aux raies larges suggèrent une masse de l'ordre d'un milliard de fois la masse du Soleil. Le trou noir pourra "aspirer" ce qui passe à sa portée et construire autour de lui un cocon de matière, sous la forme d'un "disque d'accrétion".

La matière de ce disque se rapproche en spiralant et finit par s'agglutiner sur le trou noir. C'est durant cette dernière phase que le disque d'accrétion va copieusement rayonner de l'énergie avec un rendement 10 fois supérieur au moins à celui que l'on obtient de la fusion nucléaire.

6.2 - L'éclat en contrepoint de la noirceur.

Plaçons-nous par la pensée au sein du trou noir. En tentant d'en sortir, on atteint le rayon qui ouvre vers la lumière, vers ce que nous appelons quasar.

C'est de la surface du disque d'accrétion qu'émergent toute la lumière ultraviolette et les rayons X. C'est aussi dans cette région que particules et rayons X se liguent pour produire des photons gamma pleins d'énergie. Plus loin, nous trouvons des nuages animés de très grandes vitesses (précisément en raison de l'influence du centre massif) qui sont responsables des raies larges. Cela donne des dimensions de quelques années-lumière, pas davantage.

Il est probable que les jets radio des radiogalaxies et des radio-quasars naissent là, tout près du centre, quand les électrons rebondissent près du trou. Ils le font perpendiculairement à l'axe de rotation du disque, et s'échappent librement à des vitesses voisines de celle de la lumière. La poussière, pour ne pas être sublimée, doit se concentrer en grandes quantités à bonne distance du quasar. Elle produit l'émission infrarouge.

Le gaz très ténu qui émet les raies étroites des galaxies de Seyfert s'étend

lui bien plus loin que les raies larges à plus de 3000 années-lumière du centre.

Les grandes galaxies spirales contiennent de grandes quantités de gaz sous forme atomique ou moléculaire qui fournit le carburant voulu. Les interactions entre galaxies peuvent jouer un rôle pour acheminer du gaz ou des étoiles vers le centre en une immense cheminée céleste. Un jour tout cela s'arrête et le casseur d'étoiles devient inactif. Le trou noir s'assoupit, faute de carburant, il digère les cadavres exquis de ses étoiles galactiques.

Notre Voie lactée renferme un quasar presque endormi. On y trouve une source radio très compacte et deux millions d'étoiles rouges dans un petit volume de cinq années-lumière, de quoi imaginer le jour en pleine nuit. Du gaz tourne avec frénésie comme happé par un objet central. Des flashes lumineux sont enregistrés tandis que des petits jets radio rappellent leurs grands frères lointains. Les théoriciens spéculent sur ces manifestations pyrotechniques tandis que des observateurs invoquent un "modeste" trou noir de quelques millions de masses solaires.

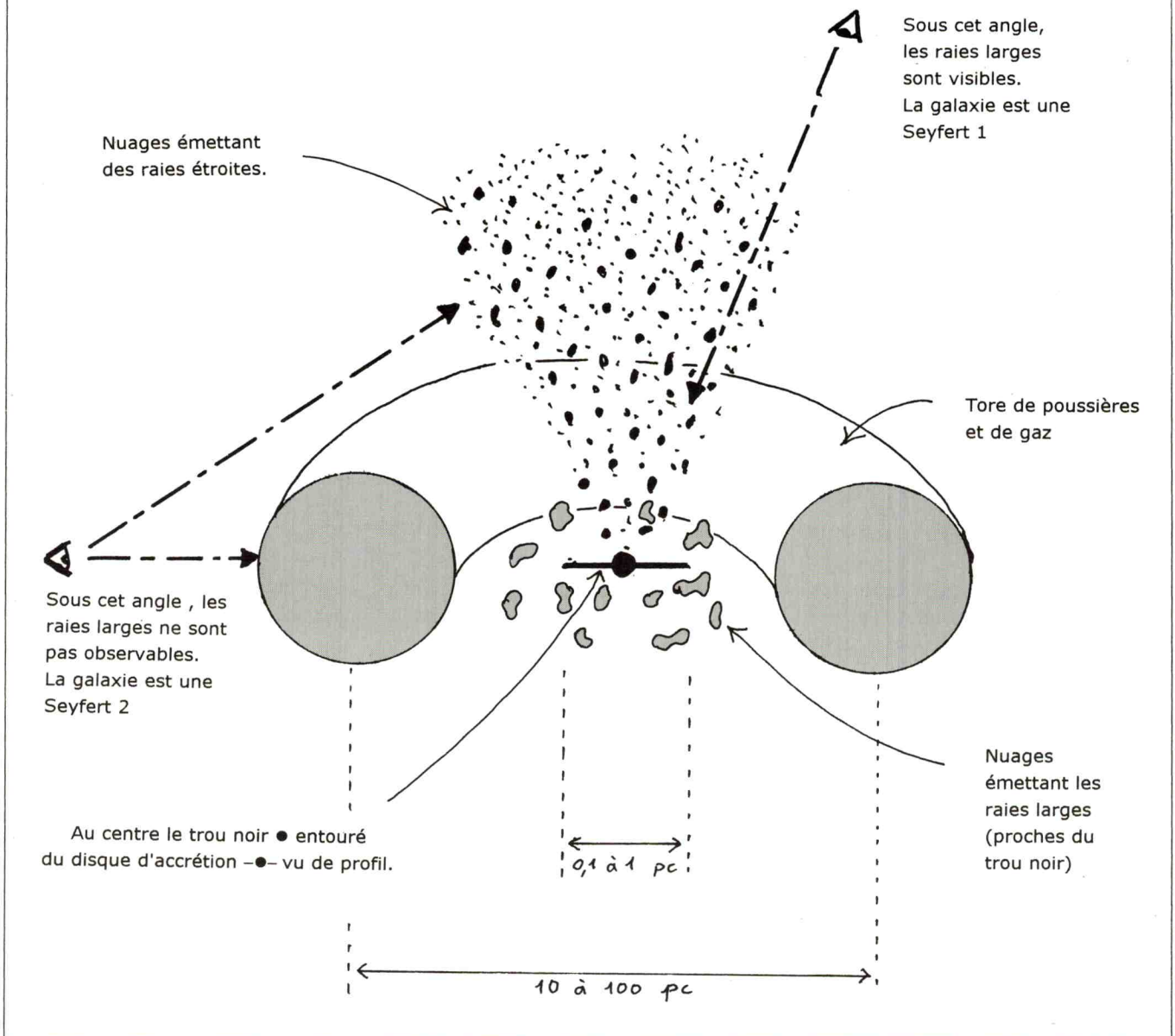
7- Des quasars des hommes aux quasars du ciel.

7-1 Le modèle unifié.

C'est une tentation de l'esprit humain de vouloir interpréter le monde en réduisant les multiples facettes de ses apparences à un système d'explications simples. Les observateurs ont vite remarqué que sous le terme générique de noyau actif se rassemblait une série de phénomènes qui ne sont pas réunis à chaque fois. Certains quasars émettent en radio, d'autres pas, certains ont des raies larges, d'autres pas, les galaxies de Seyfert ont des raies larges, ou parfois étroites seulement, les blazars émettent des ondes radio comme les quasars mais n'ont presque pas de raies en émission etc...

En 1985 Roberto Antonucci et Joe Miller ont montré que ce qui détermine l'apparence des galaxies actives est notre angle de vision par rapport à un immense anneau obscurcissant venu s'accumuler près du disque d'accrétion.

Le modèle "unifié".



L'anneau gazeux épais et poussiéreux dérobe des zones entières de la région centrale à notre vision directe, selon notre orientation vis à vis du quasar. Lorsque l'anneau cache tout, seules les raies étroites situées en dehors apparaissent et nous révèlent une Seyfert 2. Si nous regardons au-dessus de l'anneau, nous avons un oeil sur le centre et les raies larges comme dans une Seyfert 1 ou un quasar. Dans un même objet, on a observé des changements au cours du temps, comme si l'anneau était détruit ou animé d'un mouvement de rotation tantôt occultant le centre et tantôt le dévoilant.

Vues par la tranche, les galaxies de Seyfert à raies larges deviennent des galaxies à raies étroites. Les galaxies émettrices d'ondes radio entrent naturellement dans cette séquence : leurs jets sont canalisés par de puissants champs magnétiques et visibles lorsque notre angle de vue permet de regarder par dessus l'anneau. Dans le cas extrême où l'on se place dans l'axe exact de ces jets, certains noyaux pointent leurs "tuyères" dans notre direction et nous avons affaire aux blazars. En étendant ce concept d'unification on recueille l'ensemble des phénomènes.

7-2 Avec quelques étoiles de plus...

Toutes les théories sont inventées. Elles s'imposent par adéquation avec le réel qui joue le rôle d'arbitre. N'avait-on pas renoncé trop vite aux étoiles ? L'émission ultraviolette des quasars est également l'apanage d'étoiles très chaudes et très massives.

En 1983, le satellite européen IRAS (Infra-Red Astronomical Satellite) découvre des galaxies "infrarouge" qui rivalisent en luminosité avec les quasars ! Certains pensèrent avoir affaire à des quasars entourés de poussière, d'autres à des galaxies capables d'en-

gendrer un nombre fabuleux de nouvelles étoiles. Ces galaxies aux luminosités comparables à celles des quasars ont amené Roberto Terlevich, astronome à l'Institut d'astronomie de Cambridge (UK) à questionner la légitimité du trou noir. En 1985, il postule l'existence d'étoiles, au sein des noyaux actifs, dont la surface atteint des températures de plus de 100 000 K.

Si des millions d'étoiles naissent au centre des galaxies actives, les plus grosses terminent leur brève existence (quelques dizaines de millions d'années) en supernovae. Il s'ensuit un véritable feu d'artifice. La luminosité des supernovae peut rivaliser avec celle d'une galaxie tout entière et elles pourraient être observables jusqu'aux distances où nichent les quasars. Dans ces gigantesques amas d'étoiles, les variations d'éclat des quasars représentent les supernovae successives qui explosent les unes après les autres, parfois en même temps.

Cette tentative de remplacer le trou noir par des étoiles de grande masse reçut un clin d'oeil céleste de manière complètement surprenante.

Un matin de 1987 Alec Filippenko repère une tache lumineuse nouvelle dans la galaxie spirale NGC4615. L'image révèle une supernova étrange avec un spectre ressemblant à s'y méprendre à celui d'un noyau de "Seyfert". La mystification aurait été totale si la supernova avait été placée en plein centre de NGC4615 et pourtant ce n'est pas un quasar ! C'est une supernova c'est à dire la mort violente d'une étoile dans la banlieue d'une galaxie... mais elle a le même spectre ! L'analogie semble donner raison à Terlevich.

Que trouve-t-on au centre des quasars ? Un trou noir ou une flambée stellaire ? Les quasars demandent pour affiner notre savoir de prendre en compte plusieurs scénarios possibles plutôt que de les opposer. Certes le trou noir habillé d'un disque d'accrétion rend compte d'événements très violents. Ils n'ont aucun mal, par exemple, à produire les photons gamma les plus énergétiques en bordure du trou.

En revanche, le modèle de Roberto Terlevich n'a aucune peine à expliquer les propriétés des raies larges qui résultent des immenses quantités de gaz ex-

pulsé par les supernovae. Il décrit très facilement que les variations de lumière sont plus rapides dans l'ultraviolet que dans les raies émises par le gaz éjecté. Son impossibilité à expliquer la production de jets radio très dirigés et étroits est son plus sérieux handicap. Le disque d'accrétion a l'avantage d'agir comme un aimant en rotation et son champ magnétique permet de canaliser les particules en les expulsant vers l'extérieur le long de jets étroits. C'est pourquoi ces jets de plusieurs millions d'années-lumière sont sans doute les meilleurs indices trahissant la présence d'un trou noir.

De même, les superbes images du cœur de la galaxie spirale NGC4261 par le télescope Hubble dévoilent un tore de poussière de 800 années-lumière de diamètre. Ce tore nourrirait un trou noir supermassif entouré d'un cocon de gaz chaud et lumineux.

L'observation la plus décisive en faveur du trou noir est sans doute venue du satellite ASCA mis en service par les astronomes japonais. Il a observé des rayons X émis par du fer porté à quelques millions de degrés et qui trahissent des mouvements de rotation d'environ 100 000 kilomètres à la seconde. Aucune supernova ne peut éjecter de gaz à cette vitesse. Ce gaz extrêmement chaud ne peut qu'orbiter au bord d'un trou noir.

L'histoire du progrès scientifique est l'histoire dramatique des victoires remportées sur la contradiction : en réalité un consensus semble réunir les deux approches. Au fur et à mesure que les observations s'affinent, la source d'énergie des quasars est difficilement identifiable car parfois une quantité colossale de nouvelles étoiles semble coexister avec un trou noir. S'achemine-t-on vers une symbiose où un trou noir central serait entouré d'un disque, de nuages denses, d'un tore poussiéreux, de nuages ténus avec un amas dense de jeunes étoiles en formation ? De nombreux détails restent incompris : quels mécanismes amorcent la flambée d'étoiles ou forment le trou noir central ? quel est l'ordre d'apparition des mécanismes et comment agissent-ils l'un sur l'autre ?

7-3 Les quasars et la naissance des galaxies.

Des théoriciens comme Suzy Collin et Jean-Paul Zahn de l'observatoire de Meudon en appellent à la formation d'étoiles de grandes masses au sein même du disque d'accrétion. Ce modèle surprenant, a l'avantage d'assurer la stabilité dynamique du disque, de produire des éléments lourds très tôt dans l'Univers, et permet de poser élégamment la question de l'oeuf et de la poule à propos de l'origine des galaxies et des quasars.

Pour l'astronome anglais Joseph Silk, les nuages de gaz primordiaux de l'Univers ont d'abord formé des trous noirs massifs, incapables qu'ils étaient de se fragmenter suffisamment pour donner naissance à des étoiles, fussent-elles 100 fois plus massives que le Soleil. Quels processus ont donné naissance à ces trous noirs primitifs ? Nul ne le sait encore. Un quasar est-il intimement lié à la formation des galaxies ? Les galaxies précèdent-elles les quasars ?

La nouveauté de ces dernières années est de voir cohabiter quasars et galaxies, aussi loin que l'on puisse remonter dans le temps, ce qui bien sûr ne simplifie pas la tâche. Des galaxies déjà très bien formées se trouvent non loin de quasars bien installés...

8 - Et demain ?

Les quasars ont peu à peu changé de statut épistémologique au fil des années. Ils ont d'abord fasciné. Puis de nombreux astronomes les ont tenus pour de simples curiosités.

Depuis peu, surtout parce qu'ils semblent être intimement liés au trou noir - objet singulier de la physique- et à la formation des étoiles, ils sont redevenus objets d'étude et de recherche systématiques.

Leur distance permet une véritable plongée dans le temps et l'espace. Les galaxies lointaines à des redshifts supérieurs à 3 le permettent aussi, mais leur lumière est plus diffuse, moins concentrée que celle des quasars.

Nous sommes loin d'avoir épuisé les riches heures des quasars. D'abord objets exotiques ils étaient accusés

dans les années 60 de détourner de leurs études les meilleurs astronomes de l'époque. Pour eux, les grands télescopes sont mobilisés. Pour la première fois en 1998 nous connaissons une galaxie plus lointaine que le plus lointain des quasars, et située à un redshift de 5,34. Au delà de cette anecdote, les quasars sont devenus indissociables de notre réflexion sur l'origine des galaxies et l'histoire de l'Univers. Ces prochaines années verront les astronomes conduire leurs observations en tentant d'élucider au mieux ces problèmes. Ils y seront aidés par la mise en service de télescopes encore plus puissants et surtout la possibilité d'augmenter leur pouvoir de résolution au point de "s'approcher" de plus en plus près du centre d'activité des quasars.

Bibliographie :

1 - **"Les Trous Noirs"**, Jean-Pierre Luminet, éditions Belfond, 1987.

2 - **"Les quasars : Aux confins de l'univers"**, Suzy Collin et Grazyna Stasinska, collection Science et Découverte, éditions Le Rocher, 1987.

3 - **"Les quasars"**, Philippe Veron, collection Que Sais-je, n° 1267, Presses Universitaires de France.

NDLR :

1 - Daniel Kunth, article **"les Quasars"**, dans "la science au présent", 2001, Encyclopedia Universalis. Daniel Kunth a obtenu l'aimable auto-

risation de l'éditeur de reproduire cet article légèrement modifié pour les lecteurs des Cahiers.

2 - On peut relire avec profit deux anciens articles de Suzy Collin sur le même sujet :

"Les quasars aujourd'hui", CC 41, printemps 88.

"Les noyaux actifs de galaxies", CC 47, automne 89.

3 - Autres références utiles:

"Les quasars", Daniel Kunth, collection Dominos, Flammarion 1998, (ouvrage recensé par G.W. dans le CC 85, printemps 99).

"Les quasars et les noyaux actifs de galaxies", Suzy Collin, "L'Univers des galaxies", Hachette, collection "Les fondamentaux".



Informations diverses.

L'IAP fête la Science.

La fête de la Science se déroulera cette année du 16 au 22 octobre et l'Institut d'Astrophysique de Paris participe à cet événement. Il sera ouvert au public le samedi 21 et le dimanche 22 octobre de 13h30 à 18h, et quatre conférences sont prévues. **Des membres de l'IAP se déplaceront dans les établissements scolaires.** Ils répondront aux questions concernant l'astronomie et l'astrophysique et parleront des projets nationaux et européens.

Pour tout renseignement complémentaire ou pour organiser une rencontre avec un membre de l'IAP dans un établissement scolaire contacter l'IAP :

98bis, boulevard Arago, 75014 Paris ; tel : 01 44 32 80 00 ; fax : 01 44 32 80 01 ; fetescience@iap.fr

Les TPE en première scientifique.

Les thèmes finalement retenus pour l'année 2000-2001 en série S sont : croissance ; eau ; images ; risques naturels et technologiques ; sciences et aliments ; **rythmes et périodes** (BO du 22 juin 2000).

Sur ce dernier thème certains lycées ont déjà expérimenté cette année ; voici des exemples de sujets traités dans l'Académie de Versailles :

Les incertitudes liées à la mesure du temps ; temps universel, temps sidéral ; temps solaire.

Les différents types d'horloges : les clepsydres ; temps égyptien, clepsydres ; mécanisme de l'horloge ; horloges atomiques et temps officiel ; la montre à quartz ; cadrans solaires.

Calendriers grecs ; calendrier musulman ; calendriers julien et grégorien.

Orbites célestes et périodes ; éclipses ; périodes nucléaires ; les équinoxes ; rythme des saisons.

Nous pouvons utiliser les Cahiers pour proposer des sujets, relater nos expériences mais aussi pour mettre en commun une documentation adaptée.

Si vous connaissez des documents (livres, revues, CD-roms, sites Internet) utilisables par les élèves, vous seriez gentils de les signaler à la rédaction en les accompagnant si possible d'un commentaire.

Pour tout courrier concernant les Cahiers écrire à Martine Bobin :

18, chemin des Bienfaits 91530 Le Val Saint-Germain. Mél : martine.bobin@wanadoo.fr



Quand l'amour est aveugle

Jean Noël Terry

Jean-Noël Terry nous propose ici une lecture "astronomique" d'une lettre choisie d'Alphonse Daudet. Il nous montre ce que l'on peut faire avec une édition des "Lettres de mon moulin" et une carte du ciel, du modèle le plus simple qui soit.

Des générations d'élèves ont lu ces récits provençaux écrits par celui qui était, selon Mistral, "le premier à écrire le français en provençal". Or, entre "La chèvre de Monsieur Seguin" et "L'Arlésienne" se glisse une nouvelle au titre évocateur pour nous : "Les étoiles".

C'est l'occasion d'exercer un peu son esprit critique, de manipuler des cartes du ciel, voire des logiciels d'astronomie, et d'observer les objets évoqués, car ils sont visibles sans instruments. On pourra ainsi confronter sa propre expérience à celle du berger, et approfondir plus ou moins selon son goût et celui du groupe.

Nul doute qu'un berger du Luberon ait eu le loisir de contempler le ciel pur des nuits provençales, il est donc tout disposé pour expliquer le ciel à la belle Stéphanette, la fille des patrons, bloquée dans le pâturage par une crue de la Sorgue, un soir de juillet.

C'est l'opportunité, pour nous aussi, de faire un peu d'astronomie en lien avec le cours de français.

Tout commence par une étoile filante, laissons l'image de "l'âme qui entre en paradis". Un peu d'histoire permet de rappeler que les phénomènes célestes ont, de tout temps, été associés aux événements humains, en particulier les passages de co-

mètes concernant les Grands du passé. Des étoiles filantes sont visibles toute l'année, mais l'été offre des conditions climatiques favorables... et, entre autres, le bel essaim des Perséides du 20 juillet au 23 août.

Interrogé, le berger nous promène dans les constellations :

"Tenez ! Juste au-dessus de nous, voilà le Chemin de Compostelle. Il va de France droit sur l'Espagne".

Il s'agit de La Voie lactée, notre galaxie, qui, en regardant vers le sud, a cette orientation vers le sud-ouest l'été, vers l'Espagne donc, pour notre Provençal. C'est bien la direction de Saint-Jacques de Compostelle en première approche. Nous pouvons déjà remarquer, en changeant la date de la carte, qu'il n'en est pas ainsi toute l'année.

"Plus loin, vous avez le Char des âmes avec ses quatre essieux resplendissants. Les trois étoiles qui vont devant sont les Trois Bêtes, et cette toute petite contre la troisième c'est le Charretier".

Plus loin, c'est même carrément au Nord-Ouest que se trouve, en cette saison, la Grande Ourse. Si l'être "moderne" y voit une casserole, pourquoi ne pas suivre l'auteur qui reprend ici la tradition romaine : les trois Bêtes seraient Alkaid, Mizar

et Alioth. Où est le charretier ? Alcor conviendrait, sa magnitude ($m = 4$) permet de la voir facilement, mais elle est proche de la deuxième bête...est-ce 78 UMa, près de Alioth, qui est à la bonne place mais est bien moins lumineuse ($m = 4,9$) ? On considère que l'œil humain peut atteindre $m = 6$, pourquoi pas pour un jeune berger sous un ciel pur ? L'identification du charretier reste malgré tout incertaine. A chacun de faire son expérience, en tenant compte de la pollution lumineuse plus ou moins importante de son site. C'est aussi une bonne occasion de manipuler les cartes du ciel, tout en rappelant que les figures des constellations ne sont qu'illusion ! Pour les quatre essieux, c'est plus facile : Megrez, Phekda, Merak et Dubhé.

Mais continuons avec notre guide...

"Un peu plus bas, voici le Râteau ou les Trois rois. C'est ce qui nous sert d'horloge, à nous autres. Rien qu'en les regardant, je sais maintenant qu'il est minuit passé".

Alors, là, rien ne va plus : nous chercherons vainement, dans le ciel d'été, Orion, car il s'agit de cette constellation. Pas d'Orion, ni de boudrier (les Trois rois). Pas plus de "Jean de Milan", Sirius, ni de "Poussinière", les Pléiades.

Le berger est vraiment amoureux pour décrire à la belle un ciel...visible de décembre à janvier.

Tout en manipulant les cartes, on peut faire remarquer à la classe que le passage de la constellation plein sud, ne donne pas vraiment l'heure de minuit. Elle y passe, en effet, au mois de janvier, mais bien après en novembre, et bien avant en février... et vers midi au mois de juin, cachée par le bleu de l'atmosphère, mais pourtant présente. La recherche peut même aller jusqu'à préciser la notion de "minuit" en parlant un peu de l'heure légale.

Jusqu'en 1911, l'heure est celle du méridien de Paris, et l'utilisation ultérieure du méridien de Greenwich, ne change rien à notre étude. Par contre, l'usage de l'heure d'été apparaît en 1916, avec des fortunes diverses suivant les périodes. Actuellement nous devons ajouter à l'heure inscrite sur la carte du ciel, 1 heure l'hiver et 2 heures l'été...

"Mais la plus belle de toutes les étoiles, maîtresse, c'est la nôtre, c'est l'Etoile du berger, qui nous éclaire à l'aube quand nous sortons le troupeau, et aussi le soir quand nous le rentrons".

Bonne occasion pour rappeler que Vénus est une planète, expliquer la différence essentielle avec une étoile et justifier, par sa proximité du Soleil, le fait qu'elle n'est visible qu'au lever ou au coucher du Soleil...mais pas aux mêmes dates et encore moins dans la même journée. La lecture des éphémérides peut inciter à l'observation à différentes périodes de l'année pour constater ce fait.

"Nous la nommons Maguelonne qui court après Pierre de Provence (Saturne) et se marie avec lui tous les sept ans".

Alphonse Daudet parle ici de mariage d'étoiles, pour un rapprochement apparent de planètes. Ces conjonctions se produisent régulièrement, mais ne sont pas toujours visibles à cause de la proximité du Soleil. De toute façon 7 est un nombre tellement magique !!

L'amour a vraiment aveuglé notre berger. Mais que penser de l'auteur ? Il a probablement consulté des almanachs sans se méfier que le ciel de nuit varie d'une saison à l'autre, retenant les constellations en fonction de la légende associée. On sait qu'Alphonse Daudet était très myope, il n'a donc pas pu, probablement, profiter des cieux d'Algérie, de Corse et de Provence, au cours de ses voyages, pour des observations personnelles.

Pardonnons au poète et ne soyons pas rancuniers... comme la mule du pape, mais c'est une autre histoire.

Les étoiles, d'Alphonse Daudet.

...

- Qu'il y en a ! Que c'est beau ! Jamais je n'en avais tant vu... Est-ce que tu sais leurs noms, berger ?

- Mais oui, maîtresse... Tenez ! Juste au-dessus de nous, voilà le *Chemin de Saint Jacques*. Il va de la France droit sur l'Espagne. C'est Saint Jacques de Galice qui l'a tracé pour montrer sa route au brave Charlemagne lorsqu'il faisait la guerre aux Sarrasins. Plus loin vous avez le *Char des âmes* avec ses quatre essieux resplendissants. Les trois étoiles qui vont devant sont les *Trois Bêtes* et cette toute petite contre la troisième, c'est le *Charretier*. Voyez-vous tout autour cette pluie d'étoiles qui tombent ? Ce sont les âmes dont le Bon Dieu ne veut pas chez lui... Un peu plus bas voici le *Râteau* ou *Les Trois rois*. C'est ce qui nous sert d'horloge à nous autres. Rien qu'en les regardant je sais maintenant qu'il est minuit passé. Un peu plus bas toujours vers le midi, brille Jean de Milan, le flambeau des astres. Sur cette étoile-là, voici ce que les bergers racontent. Il paraît qu'une nuit *Jean de Milan*, avec les *Trois Rois* et la *Poussinière*, furent invités à la noce d'une étoile de leurs amies. La *Poussinière*, plus pressée, partit, dit-on la première et prit le chemin haut. Regardez-la, là-haut tout au fond du ciel. Les *Trois rois* coupèrent plus bas et la rattrapèrent ; mais ce paresseux de *Jean de Milan*, qui avait dormi trop tard, resta tout à fait derrière, et furieux, pour les arrêter, leur jeta son bâton. C'est pourquoi les *Trois rois* s'appellent aussi le *Bâton de Jean de Milan*. Mais la plus belle de toutes les étoiles, maîtresse, c'est la nôtre, c'est l'*Etoile du berger* qui nous éclaire à l'aube quand nous sortons le troupeau, et aussi le soir quand nous le rentrons. Nous la nommons *Maguelonne* la belle Maguelonne qui court après *Pierre de Provence* et se marie avec lui tous les sept ans.

...



Mesures de distances

Jean Ripert

Dans le troisième volet de son feuilleton, Jean Ripert traite des méthodes de détermination des distances des étoiles et des galaxies. Ce travail déborde du strict cadre du programme de seconde mais peut-être abordé en classe scientifique. D'autre part il nous a semblé important que ce problème de la détermination des distances soit présenté de manière cohérente et approfondie.

Distance des étoiles.

1 - Parallaxe trigonométrique.

Mettre en évidence la parallaxe d'une étoile signifie que l'on observe le déplacement d'une étoile sur un fond d'étoiles plus lointaines.

Dans l'Antiquité on pensait que toutes les étoiles étaient à la même distance (sphère des fixes) et en plus on pensait que la Terre était immobile. Cette immobilité avait été déduite par Aristote¹ de l'absence de déplacement annuel des étoiles.

D'ailleurs deux mille ans plus tard le même argument était avancé par les opposants au système héliocentrique.

Les tenants de l'héliocentrisme s'attachèrent donc à mettre en évidence la parallaxe de certaines étoiles. Il faut que l'étoile soit proche et que la base (distance entre les deux lieux d'observation) soit grande. La base qui était de quelques milliers de km lors de la mesure des parallaxes de planètes devient égale à 300 millions de km, distance séparant deux positions de la Terre sur son orbite à six mois d'intervalle.

Cette quête va permettre d'autres découvertes :

- en 1726 Bradley² découvre que toutes les étoiles ont un déplacement périodique annuel de 41", c'est l'aberration de la lumière (combinaison de la vitesse de la lumière et de celle de la Terre). Ceci prouve que la Terre se déplace et que la lumière a une vitesse de propagation finie.

- à la fin du 18^{ème} siècle, Herschel³ découvre que des étoiles ont des mouvements périodiques de périodes très différentes d'une année (période de révolution de la Terre), c'est la découverte des étoiles doubles. La liste importante de telles étoiles fait penser que les étoiles doubles sont nombreuses et le fait que souvent une seule de ces étoiles est visible, montre que les étoiles peuvent avoir des luminosités très différentes.

C'est à partir de 1838 que furent mesurées les premières parallaxes stellaires par Bessel⁴ (61 Cygni, $p = 0,35''$), Henderson (α Centauri $p = 0,91''$), Struve (Vega, $p = 0,26''$).

La précision de ces mesures est limitée par la diffraction du télescope et par la turbulence atmosphérique. D'ailleurs au milieu du 20^{ème} siècle, ces valeurs étaient revues. Pour α Centauri $p = 0,76''$ et pour Vega, $p = 0,123''$. Dans le cas de cette dernière étoile cela signifie que sa distance est doublée.

Ainsi la distance des étoiles lès plus

proches (700) était connue avec une incertitude de 10 % jusqu'aux mesures réalisées par le satellite Hipparcos. Celui-ci a mesuré la parallaxe de 120 000 étoiles avec une précision de 0,002" (angle sous lequel on verrait une balle de golf placée à 6000 km).

Remarques :

- l'année de lumière (al) est la distance parcourue par la lumière en un an soit $3 \times 10^5 \times 3,16 \times 10^7 = 9 \times 10^{12}$ km.
- le parsec est la distance d'où l'on voit le rayon de l'orbite terrestre (1 UA) sous un angle de 1".

1 pc = 3,26 al.

- dans une sphère de rayon 5 pc (16 al) il y a une dizaine d'étoiles et dans une sphère de rayon 20 pc (65 al) il y en a 700.

Notes :

- 1 - Aristote 384-322 avant notre ère.
- 2 - James Bradley, astronome anglais (1693-1762), découvre aussi la nutation de l'axe de rotation de la Terre en 1748, et en 1789 Encelade et Mimas.
- 3 - William Herschel (1738-1822) découvre Uranus en 1781 et ses satellites Titania et Obéron en 1787.
- 4 - Friedrich Bessel, astronome allemand 1784-1846, directeur de l'observatoire de Königsberg.

2 - Autre méthode.

2-1 - Magnitude.

Les anciens avaient classé les étoiles en fonction de leur luminosité en 6 grandeurs. Celles de première grandeur étaient les plus brillantes (visibles dès le coucher du Soleil) jusqu'à celles de 6ème grandeur (les dernières visibles). Le catalogue d'étoiles de Ptolémée ("syntaxe mathématique" publiée en 150 après JC) nous est parvenu grâce à la traduction arabe (12^e siècle) connue sous le nom d'Almageste (al mǧsty, le plus grand traité).

Au 18^e siècle, on comparait l'éclat d'une étoile à la flamme d'une bougie, au 19^e siècle, le photomètre permettait la comparaison de l'éclat de deux étoiles.

Remarque : la sensation de l'œil à un éclairement n'est pas linéaire, elle varie

comme le logarithme de l'éclairement de la source.

A la fin du 19^e siècle, Pogson¹ montra qu'un rapport 100 existait entre les éclats d'étoiles de grandeur 1 et 6 et proposa la relation :

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log (E_1 / E_2)$$

relation dans laquelle m représente la magnitude apparente de l'étoile.

$$m = -2,5 \log E + Cte$$

La constante fut choisie pour que la valeur de m soit voisine de la valeur de la grandeur du catalogue de Ptolémée.

2-2 - Eclat apparent.

Soit L la luminosité de l'étoile, c'est à dire la puissance totale émise par l'étoile. L'éclat apparent E reçu par mètre-carré à la distance δ est donné par la relation : $E = L / 4\pi\delta^2$ (δ en m).

L'éclat apparent est lié à la magnitude apparente et la luminosité à la magnitude absolue. Si on connaît ces deux grandeurs, il est possible de déterminer la distance de l'étoile.

2-3 - Magnitude absolue.

Soit m la magnitude apparente d'une étoile de luminosité L située à une distance de d parsecs et d'éclat E_d . Sa magnitude absolue M est celle qu'elle aurait si elle était située à 10 parsecs soit Δ mètres. Les égalités $E_d = L / 4\pi\delta^2$ et $E_{10} = L / 4\pi\Delta^2$ donnent alors :

$$m - M = -2,5 \log (E_d / E_{10})$$

$$= -2,5 \log (\Delta/\delta)^2 = -2,5 \log (10/d)^2$$

$$= 5 \log d - 5$$

2-4 - Module de distance.

La différence de magnitude m - M, appelée module de distance, permet de déterminer la distance :

$$d = 10^{1+(m-M)/5}$$

Toutes les méthodes qui suivent sont basées sur ce principe. La magnitude apparente m est mesurée depuis la Terre. Il faut trouver un moyen pour déterminer la magnitude absolue M.

2-5 - Diagramme HR ou diagramme Hertzsprung² - Russel³.

A partir d'étoiles dont on connaissait la distance (parallaxe trigonométrique), les astronomes danois et américain, cités ci-dessus, ont (indépen-

damment) placé les étoiles dans un repère couleur-magnitude absolue et type spectral-magnitude absolue et ont constaté que les étoiles se regroupaient en série principale (Soleil), géantes, ...

Le modèle d'étoile (structure interne et évolution) rend compte de cette distribution.

Donc en observant une étoile dont on veut déterminer la distance, on peut mesurer sa magnitude apparente m, déterminer sa classe spectrale, connaître sa famille et à partir du diagramme HR trouver sa magnitude absolue donc sa distance.

Cette méthode est appelée par analogie avec la précédente méthode de la parallaxe spectroscopique.

Remarques :

- Dans la détermination des magnitudes, il faut tenir compte de l'absorption interstellaire et les mesures sont faites à des longueurs d'onde bien définies (filtres).

- Il est possible également de déterminer la distance d'un amas d'étoiles. Pour cela on réalise le diagramme HR de l'amas et par glissement on essaie de faire correspondre sa série principale avec celle du diagramme HR général. On en déduit le module de distance m - M et donc sa distance.

Notes :

- 1 - Norman Robert Pogson, astronome américain (1809-1891).
- 2 - Ejnar Hertzsprung, astronome danois (1873-1967) étudie des étoiles doubles, des céphéides et des étoiles variables. Il établit le diagramme en 1905, indépendamment de Russel.
- 3 - Henry Norris Russel astronome américain (1877-1957) directeur de l'observatoire de Princeton 1912.

Distance des galaxies.

Dans le cas des galaxies, on utilise également le module de distance. Il faut donc y reconnaître une étoile dont on a le moyen de déterminer le module de distance.

1 - Les céphéides.

Leur nom générique vient de l'étoile δ Céphée qui est une étoile dont la luminosité varie périodiquement (contraction et dilatation des couches externes de l'étoile).

En 1912, H. Leavitt¹ découvrit que la période des céphéides du petit nuage de Magellan (galaxie la plus proche de nous, visible depuis l'hémisphère sud) était liée à leur magnitude absolue médiane $M = (M_{\max} + M_{\min}) / 2$. On a la relation (1) : $M = a \log P + b$

La détermination des coefficients a et b nécessite une calibration à partir de céphéides de distance connue.

La relation (1) est conforme au modèle théorique décrivant l'évolution des étoiles et en particulier le transport d'énergie dans l'étoile. Elle constitue un critère de distance puisque permettant de déterminer la magnitude absolue, elle permet le calcul de la distance.

Pour mieux saisir cette méthode utilisant les céphéides, imaginons que tous les feux tricolores aient la même puissance (magnitude absolue). Situé très loin d'une ville, on reconnaît un tel feu (il appartient donc à une classe connue). Il est possible de déterminer la puissance reçue (magnitude apparente) et donc de déduire sa distance.

Remarque :

Les étoiles RR Lyrae ont été longtemps utilisées comme calibreurs de distance des amas globulaires.

Note :

1 - Henrietta Leavitt est une astronome américaine (1868-1921).

2 - Relation de Tully-Fischer.

En 1977, une relation établie empiriquement permet de lier la magnitude absolue totale d'une galaxie à la vitesse maximale de rotation dans le disque galactique.

$$M = a \log V_{\max} + b$$

Cette relation n'a pas de justification théorique. On a simplement constaté que plus la masse de la galaxie

était grande, plus la vitesse maximale était grande. La relation lierait donc la masse à la luminosité.

3 - Supernova de type Ia.

Ce sont des étoiles très lumineuses au moment de leur explosion¹, elles sont donc visibles de très loin. L'observation de supernovae de type Ia dans une même galaxie a montré qu'elles avaient même magnitude apparente. Puisqu'elles sont à une même distance de la Terre on en conclut qu'elles ont même magnitude absolue.

La calibration a été faite avec Hipparcos qui a observé des céphéides dans des galaxies dans lesquelles des supernovae avaient été observées.

Il suffit donc d'être sûr d'avoir affaire à une supernova de type Ia, pour déterminer son module de distance et donc sa distance (distance de la galaxie dans laquelle elle se trouve). L'identification se fait par la forme de la courbe de lumière (maximum atteint rapidement, puis décroissance d'abord rapide-déclin du nickel- puis lente-déclin du cobalt-) et par son spectre (deux raies d'absorption voisines, très intenses-Si⁺).

Note :

1 - Ce sont des étoiles doubles de masses très différentes et qui ont donc évolué à des rythmes différents : la plus massive est devenue une naine blanche, alors que l'autre en est au stade de géante rouge. La naine blanche ne peut avoir une masse supérieure à 1,4 masse solaire, sinon elle explose. La géante rouge perd ses couches extérieures qui sont absorbées par la naine qui finit par exploser. L'un des processus liés à cette explosion, produit une grande quantité de nickel radioactif (⁵⁶Ni) qui donne du cobalt (⁵⁶Co) et enfin du fer stable.

4 - Autres méthodes.

La distance peut également être déterminée à partir de l'observation de nébuleuses planétaires dans des galaxies elliptiques (on attribue à la nébu-

leuse planétaire la plus brillante la magnitude absolue de la nébuleuse planétaire la plus brillante située dans une galaxie de distance connue) ou d'étoiles supergéantes rouges.

Remarque :

La mesure des distances des galaxies permet d'avoir accès à l'âge de l'Univers.

En effet, le décalage vers le rouge des raies dans les spectres de galaxies montre que l'Univers se dilate. Ce décalage permet d'estimer la vitesse radiale¹ d'une galaxie. En tenant compte des mouvements de la Terre, du Soleil, de notre galaxie et du mouvement propre de la galaxie, on détermine la vitesse cosmologique due à l'expansion de l'Univers.

Hubble a constaté que plus la galaxie observée était loin, plus sa vitesse cosmologique était grande et il a montré que cette vitesse était proportionnelle à sa distance.

$$V_{\text{cosmo}} = H_0 d$$

(où H_0 est la constante de Hubble).

La mesure de V_{cosmo} par l'étude du spectre et celle de la distance d par une méthode décrite ci-dessus permet de déterminer H_0 . Or H_0 a la dimension de l'inverse d'un temps.

Depuis Einstein, les modèles cosmologiques amènent à calculer l'âge t_0 de l'Univers par $1/H_0$.

En fait, les modèles relativistes donnent tous $t_0 < 1/H_0$ et dans le cas du modèle standard on trouve $t_0 = (2/3) H_0$

Note :

1 - le décalage spectral z est mesuré à partir du spectre :

$$z = \Delta\lambda / \lambda = V_{\text{radiale}} / c$$

c est la célérité de la lumière.

A partir de V_{radiale} on détermine V_{cosmo} et $V_{\text{cosmo}} = H_0 d$.

Bibliographie :

- Méthodes de l'astrophysique, L. Gouguenheim, Hachette CNRS.
- CNED Université Paris XI Diplôme Universitaire Astrophysique : à propos de l'âge de l'Univers (L. Bottinelli, M. Gerbaldi, L. Gouguenheim).



AVEC NOS ÉLÈVES

Astronomie en première L

Lycée A.Camus de Nantes

Jean-Luc Cancouët, professeur de physique, Colette Le Lay, professeur de mathématiques et Nicole Verger, documentaliste nous présentent ici une partie de leur travail effectué en première L dans le cadre de l'enseignement scientifique. Nous avons choisi de présenter deux des thèmes traités, la loi de Titus-Bode et l'étude d'un texte sur l'origine du calendrier.

Une tentative d'interdisciplinarité physique - mathématiques :

Le compte rendu qui suit retrace un travail mené conjointement par les professeurs de sciences physiques et de mathématiques, secondés par la documentaliste auprès d'une classe de Première L. Ainsi que le lecteur pourra le constater, l'essentiel du travail a été effectué par le professeur de sciences physiques qui y a consacré une partie substantielle de son horaire.

Le professeur de mathématiques, qui dispose d'une heure hebdomadaire n'y a consacré qu'une séance et demie : une heure de recherche au CDI par groupes de quatre et une demi-heure de correction.

Dans le programme de mathématiques de la classe de Première L, figure l'introduction des suites numériques. Le choix des exemples est du ressort des enseignants. Il était tentant de se servir de la loi de Bode et de la présenter à l'aide d'un texte historique, celui de Camille Flammarion dans l'Astronomie des dames (1903). Les ambitions de la séance étaient limitées : lecture raisonnée du texte, petites recherches bibliographiques et réinvestissement des connaissances acquises en physique. En guise de corrigé de cette activité de recherche, rendue possible grâce au concours de la documentaliste, un do-

cument synthétique sur la loi de Bode, tiré du numéro 56 de la revue Tangente (mars 1997) a été remis aux élèves à la séance suivante. Enfin, l'appropriation des résultats de la recherche a été évaluée dans un exercice lors du devoir suivant.

Voici le document remis aux élèves lors de la séance de recherche au CDI.

La loi de Bode et la découverte de Neptune.

Voici un passage de l'Astronomie des dames de Camille Flammarion, ouvrage paru en 1903.

"On a remarqué une proportion fort simple, connue sous le nom de "loi de Bode", qui sert à indiquer approximativement la distance relative des planètes au Soleil. Voici en quoi elle consiste. En partant de zéro, écrivons le nombre 3 et doublons successivement :

0 3 6 12 24 48 96 192 384

Puis, additionnons le chiffre 4 à chacun des nombres précédents, et nous aurons la série suivante :

4 7 10 16 28 52 100 196 388

Or, fait très curieux, si l'on représente par 10 la distance de la Terre au Soleil, le chiffre 4 représente le rayon de l'orbite de Mercure, le 7, celui de Vénus, le 16, celui de Mars ; le nombre 28 marque la distance moyenne des petites planètes ; les distances de Jupiter, Saturne et Uranus s'accordent avec 52, 100 et 196.

L'immortel mathématicien français Le Verrier, qui poursuivait la solution du problème uranien, supposa, naturellement, que la planète perturbatrice devait se trouver vers la distance 388 et fit ses calculs en conséquence. La direction dans le ciel était donnée par la forme des perturbations, l'orbite d'Uranus étant, en quelque sorte, gonflée du côté de la cause perturbatrice.

Le 31 août 1846, Le Verrier annonça la position de la planète ultra - uranienne, et, le 23 septembre suivant, un astronome allemand, Galle, de l'observatoire de Berlin, qui venait de recevoir ce calcul, dirigea une lunette vers le point du ciel indiqué où il constata, en effet, la présence de l'astre nouveau. Le Verrier, sans sortir de son cabinet de travail, avait senti, par la seule puissance des mathématiques, et en quelque sorte touché du bout de sa plume, la mystérieuse inconnue".

(Camille Flammarion, *Astronomie des dames*, éd. 1933, p 193 - 194).

1 - Les protagonistes.

Qui est l'auteur du texte ?

Qui sont Bode et Le Verrier ?

2 - La découverte des planètes.

Quelles sont les planètes que connaissaient les Grecs ?

De quand date la découverte de la planète Uranus ?

Expliquez les expressions "petites planètes", "problème uranien".

3 - La loi de Bode.

A l'aide des explications fournies par le texte, essayez de retrouver la formule de Bode qui donne la distance de la planète au Soleil en fonction de son rang n.

La loi de Bode s'applique-t-elle à la dernière planète découverte (Pluton en 1930) ?

Voici l'exercice permettant de tester les acquis.

1- La loi de Bode donne la distance d'une planète au Soleil, en unité astronomique, en fonction du rang de la planète. La formule est la suivante :

$$d_n = (3 \times 2^{n-1} + 4) / 10$$

nom	Vénus	Terre	Mars	astéroïdes	Jupiter
rang	1	2	3	4	5
distance					

Recopier le tableau ci-dessus et le compléter à l'aide de la formule.

Lors de la séance au CDI, les recherches ont été fructueuses sauf sur trois points : l'explication des expressions "petites planètes" et "problème uranien" (peu de groupes ont pensé aux astéroïdes et aucun groupe n'a parlé des perturbations inexpliquées de l'orbite d'Uranus) et l'application de la loi à Pluton (tous les groupes ont écrit que la loi marchait).

Enfin, l'exercice de contrôle fut assez décevant, beaucoup d'élèves ne s'étant pas réapproprié les informations lues dans les documents. Ainsi, un nombre assez conséquent n'a pas su remplir la case "Terre" et n'a donc pas compris ce qu'est l'unité astronomique.

En revanche, les élèves ont apprécié le type de travail (recherche documentaire à partir d'un texte) et ont demandé à renouveler l'expérience.

Etude d'un texte : origine du calendrier.

Ce texte est extrait du livre "les découvreurs" de D. Boorstin, édité chez. Robert Laffont, collection bouquins.

"La semaine occidentale de sept jours, l'une de nos institutions les plus arbitraires, est née d'un besoin général et non d'une quelconque décision politique. Comment tout cela s'est-il passé? Et d'abord pourquoi sept jours ?

Les Grecs, semble-t-il, avaient une "semaine" de huit jours. Les paysans, après sept jours de travail aux champs, se rendaient à la ville pour le jour du marché (la nondine). C'était un jour de repos et de réjouissances, où l'on procédait aux annonces publiques et où l'on recevait ses amis.

Quand et pourquoi les Romains adoptèrent-ils l'unité de temps de huit jours, et pourquoi passèrent-ils par la suite à la semaine proprement dite ? On l'ignore. Presque partout, le chiffre 7 a exercé une sorte de fascination. Les Japonais dénombraient sept dieux du bonheur, Rome fut construite sur sept collines, il existait pour les Anciens sept merveilles au monde, et pour le Moyen Age chrétien sept péchés capitaux. Le passage de l'unité de huit jours à celle de sept ne fut-pas, semble-t-il, le résultat d'une mesure officielle. Toujours est-il qu'au début du III^e siècle de notre ère, les Romains utilisaient la semaine proprement dite.

Sans doute y avait-il alors dans l'air des idées nouvelles. Celle du jour de repos, par exemple, qui semble avoir été introduite à Rome par les Juifs. "Souviens-toi du jour du repos pour le consacrer, proclame le deuxième commandement. Tu travailleras six jours et tu feras tout ton ouvrage ; mais le septième jour est le jour du repos de l'Eternel, ton Dieu: tu ne feras aucun ouvrage, ni toi, ni ton fils, ni ta fille, ni ton serviteur, ni ta servante, ni ton bétail, ni l'étranger qui est en tes portes. Car en six jours, l'Eternel a fait les cieux, la terre et la mer, et tout ce qui y est contenu, puis il s'est reposé le septième jour: c'est pourquoi l'Eternel a béni le jour du repos et il le consacre". (Exode, 20, 8-11). Ainsi, chaque semaine, les créatures de Dieu célébraient leur Créa-

teur. Mais pour les Juifs, cette commémoration est aussi celle de la libération : "Tu te souviendras que tu as été esclave au pays d'Égypte et que l'Éternel, ton Dieu, t'en a fait sortir à main forte et à bras étendu ; c'est pourquoi l'Éternel, ton Dieu, t'a ordonné d'observer le jour du repos". (Deutéronome, 5, 15). Le Shabbat, rappel sans cesse réitéré des grands actes fondateurs.

Il y eut aussi d'autres facteurs, moins théologiques. Le besoin humain de délasserment, par exemple. L'idée d'un septième jour consacré au repos, le mot shabbat lui-même (du babylonien sabattu) paraissent venir de l'époque où le peuple juif était en captivité à Babylone. Les Babyloniens observaient les septième, quatorzième, dix-neuvième, vingt et unième et vingt-huitième jours du mois - où certaines activités étaient interdites à leur roi.

Autre indice : le samedi, dont Juifs, Romains et d'autres après eux firent leur jour de repos. Chez les Romains, le jour de Saturne était un jour de mauvais augure, où toute activité humaine était vouée à l'échec, où il ne fallait ni livrer bataille ni partir en voyage ; la prudence commandait qu'on s'abstint. Selon Tacite, si le jour de repos était dédié à cette planète, c'était parce que "des sept astres qui régissent les choses humaines, c'est Saturne qui possède la sphère la plus élevée et le plus grand pouvoir".

Au III^e siècle de notre ère, la semaine était de règle à travers tout l'Empire romain. Chacun des sept jours était dédié à l'une des planètes. Parmi les sept planètes, selon l'astronomie du temps, figuraient le Soleil et la Lune, mais pas la Terre. Elles gouvernaient les jours de la semaine dans l'ordre suivant : le Soleil, la Lune, Mars, Mercure, Jupiter, Vénus et Saturne. Cet ordre n'était pas celui de leurs distances alors supposées par rapport à la Terre, qui est l'ordre "normal", utilisé plus tard par Dante, par exemple, et répété par des générations d'écoliers jusqu'à l'époque de Copernic.

L'ordre choisi par les Romains - et qui, pour nous encore, est celui des jours de la semaine - était celui, pour eux, de l'influence des planètes sur la première heure de chaque jour. Pour déterminer cette influence des planètes, les astrologues prenaient en compte leurs distances supposées à la Terre. Chacune d'elles, croyaient-ils, gouvernait une certaine heure, puis, l'heure d'après, cédait la place à celle qui, dans l'ordre, était la plus rapprochée de la Terre. Et ainsi de suite pour les sept planètes. Une fois les sept heures écoulées, tout recommençait, dans le même ordre. La planète régissant la journée était donc celle qui se trouvait gouverner la première heure ; elle donnait son nom à la journée tout entière. De là le déroulement de la semaine qui est encore le nôtre aujourd'hui.

Notre semaine, on l'oublie facilement, est d'origine astrologique liée à une vision du ciel qui était celle des Romains il y a deux mille ans. Aujourd'hui encore, dans les langues européennes, les jours de la semaine portent les noms de ces planètes.

Ceci est particulièrement vrai dans les langues autres que l'anglais.

Témoin ces quelques exemples (nous indiquons entre parenthèses la planète dominante) :

	Anglais	Français	Italien	Espagnol
(Soleil)	Sunday	dimanche	domenica	domingo
(Lune)	Monday	lundi	lunedì	lunes
(Mars)	Tuesday	mardi	martedì	martes
(Mercure)	Wednesday	mercredi	mercoledì	miércoles
(Jupiter)	Thursday	jeudi	giovedì	jueves
(Vénus)	Friday	vendredi	venerdì	viernes
(Saturne)	Saturday	samedi	sabato	sábado

Lire le texte et répondre aux questions suivantes :

1. La semaine des grecs avait combien de jours ?
2. A partir du texte, citer quatre associations au chiffre 7.
3. A partir de quelle époque et dans quelle civilisation apparaît la semaine de sept jours ?
4. Quelle planète était associée à un jour de mauvaise augure ? Quel était ce jour ?
5. L'ordre des planètes du système solaire correspond-il à leur ordre dans la semaine ?
6. La Terre est-elle associée à un jour ?
7. Expliquez comment chaque planète régissait chaque journée.

Note :

Ces deux exemples s'inscrivent dans un ensemble de travaux consacrés à l'astronomie dans le cadre du cours de Sciences Physiques de première L (horaire hebdomadaire : 0,75 h de cours et 0,75 h de T.P.).

Autres activités proposées aux élèves :

- comparaison de différentes cosmologies.
- étude de texte sur les croyances et les idées reçues liées à la Lune. texte extrait du livre "Du fer dans les épinards", sous la direction de de JF Bouvet (Seuil). Discussion plus générale sur les sciences et parasciences.
- comparaison des calendriers dans différentes civilisations
- réalisation par les élèves d'une affiche sur un astre du système solaire (à partir d'un cours sur le système solaire et d'un travail au CDI).
- Travail sur un site Internet choisi par l'enseignant car bien illustré didactique et riche en anecdotes.
GILLES CHEVALDIN\perso.wanadoo.fr\gilles chevaldin\sommaire.htm
- utilisation d'une vidéo éditée par La Cité des Sciences et de l'Industrie sur le Système Solaire avec des commentaires d'André Brahic.
- séance à partir d'un document sur la planète Vénus : les élèves ont tracé les trajectoires de la planète dans deux référentiels distincts. Un développement sur la relativité de trajectoires a été faite avec pour support la vidéo en images de synthèse "Tous sur orbite".

Lycée Albert Camus : 11, rue E. COUTAN, 44100 Nantes.



Spectroscopie solaire en première S

Lycée Victor Grignard, Cherbourg

Virginie Dubourdieu, Jean-Baptiste Fardouet, Sophie Ulmann et Nancy Yuk, élèves en première S ont obtenu le 19 mai 2000 le premier prix du concours Lanfranc - Laënnec organisé par le CNRS (Pays de Loire Bretagne-Normandie). Avec l'aide de leur proviseur, René Cavaroz, ils ont traité le sujet : ce que nous apprend la lumière solaire ; spectroscopie solaire.

Cet article propose de rendre compte de ce travail, qui a fait l'objet de conventions "Passion - recherche" entre le lycée, l'Observatoire de Paris-Meudon, M. Alain Hairie, président de l'association normande d'astronomie et de M. Dominique Boust, président du groupe astronomique de la Hague et Querqueville.

Introduction

Auguste Comte, dans le tome II de son cours de Philosophie positive (1835) écrivait : *"Nous ne saurons jamais étudier, par aucun moyen, la composition chimique des étoiles"*.

Cette année, dans le cadre du concours Lanfranc-Laënnec, nous avons eu la chance de travailler sur un spectroscopie prêt par le Groupe Astronomique Hague Querqueville.

Notre étude a comporté plusieurs étapes :

- une étude préalable du Soleil et de la spectroscopie
- la prise en main du spectroscopie et de son étalonnage.

Tout cela a abouti à la visualisation du spectre solaire et de ses raies d'absorption, ainsi qu'à un début d'analyse...

- I - Le spectroscopie à travers les âges.
- II - La lumière.
- III - Le spectre.
- IV - La description du spectroscopie.
- V - Notre approche du spectroscopie.
- VI - Nos expériences.

N.D.L.R. : la place manquant ici pour reproduire intégralement l'important dossier réalisé par les élèves, nous avons choisi de présenter la partie TP qui présente l'aspect le plus personnel de leur travail.

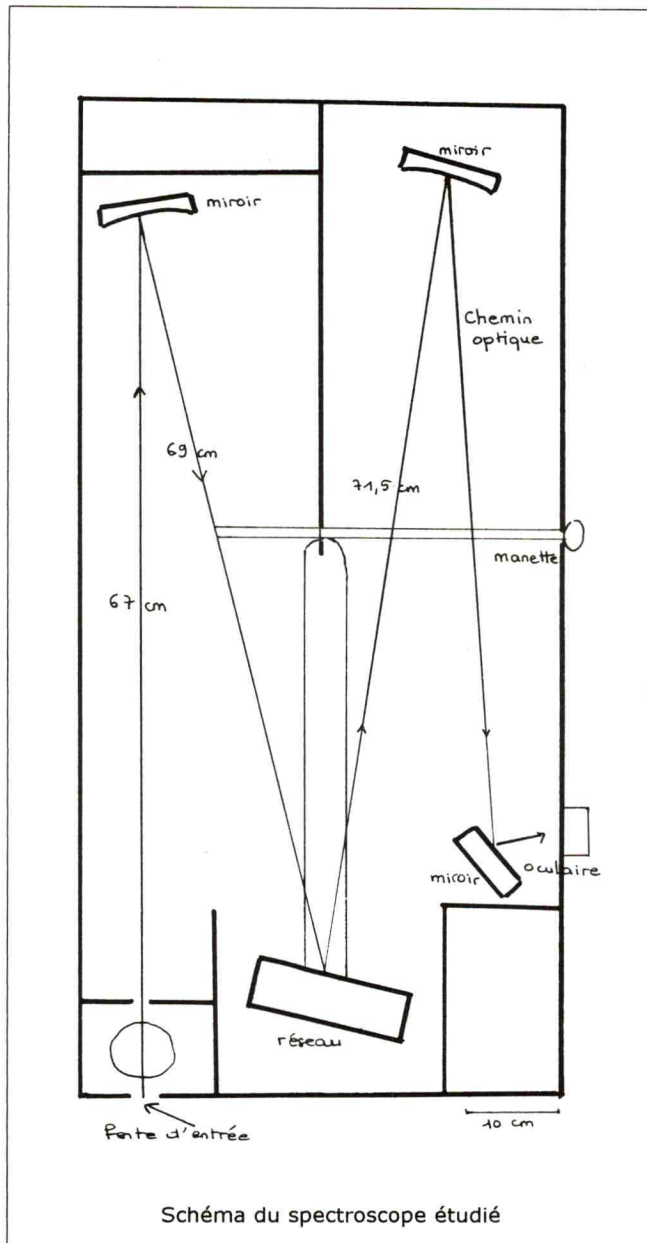
La description du spectroscopie.

Présentation générale : le spectroscopie utilisé est ainsi constitué :

- la lumière à analyser éclaire une fente d'entrée ;

- la fente d'entrée est placée dans le plan focal objet d'un miroir parabolique. Ce dispositif permet de former, après réflexion sur le miroir, une onde dite "plane", nécessaire au bon fonctionnement du réseau ;

- le réseau est éclairé sur une partie de sa surface (car le diamètre du miroir est inférieur à la longueur du réseau). Il va permettre de réaliser le spectre de la lumière, entrée par la fente ;



- la lumière renvoyée par le réseau est alors captée par un miroir parabolique qui forme l'image du spectre dans son plan focal image.

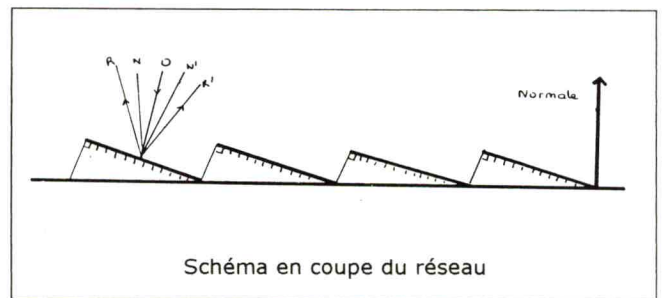
- l'image est renvoyée vers l'oculaire par un miroir plan.

Le réseau : un réseau est un système optique dispersif formé par la répétition sur un support d'un motif à intervalles réguliers.

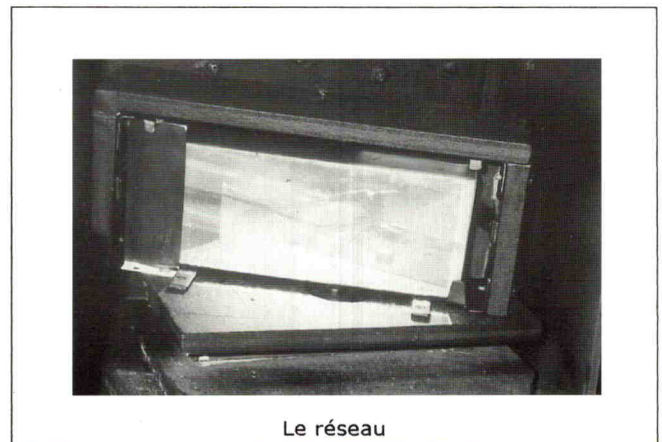
On peut distinguer deux sortes de réseaux :

- les réseaux par transmission, constitués par un ensemble de N fentes rectangulaires régulièrement espacées d'une distance p (le pas du réseau).

- les réseaux par réflexion, constitués par un ensemble de N miroirs qui peuvent être ordonnés comme sur le schéma ci-contre.



C'est ce type de réseau qui équipe notre spectroscopie : un réseau à échelettes. Il constitue l'élément le plus important du spectroscopie, il est donc nécessaire de bien connaître son fonctionnement.



Pour comprendre le principe d'un réseau, on peut considérer un réseau par transmission. Il sera alors plus facile de comprendre l'intérêt du réseau à échelettes.

Si on éclaire un réseau par transmission avec une seule onde lumineuse contenant une seule couleur (λ), on constate que la lumière se répartit dans des directions privilégiées.

A chaque couleur est associée un ordre.

Si, pour éclairer le réseau, on s'est servi d'un dispositif semblable à celui du spectroscopie, on obtient sur un écran une image de la fente source pour chaque ordre.

Les images n'ont pas toutes la même intensité lumineuse. L'intensité est maximale au centre (0) puis diminue rapidement de part et d'autre. Si la lumière contient maintenant deux longueurs d'onde, on obtient sur l'écran :

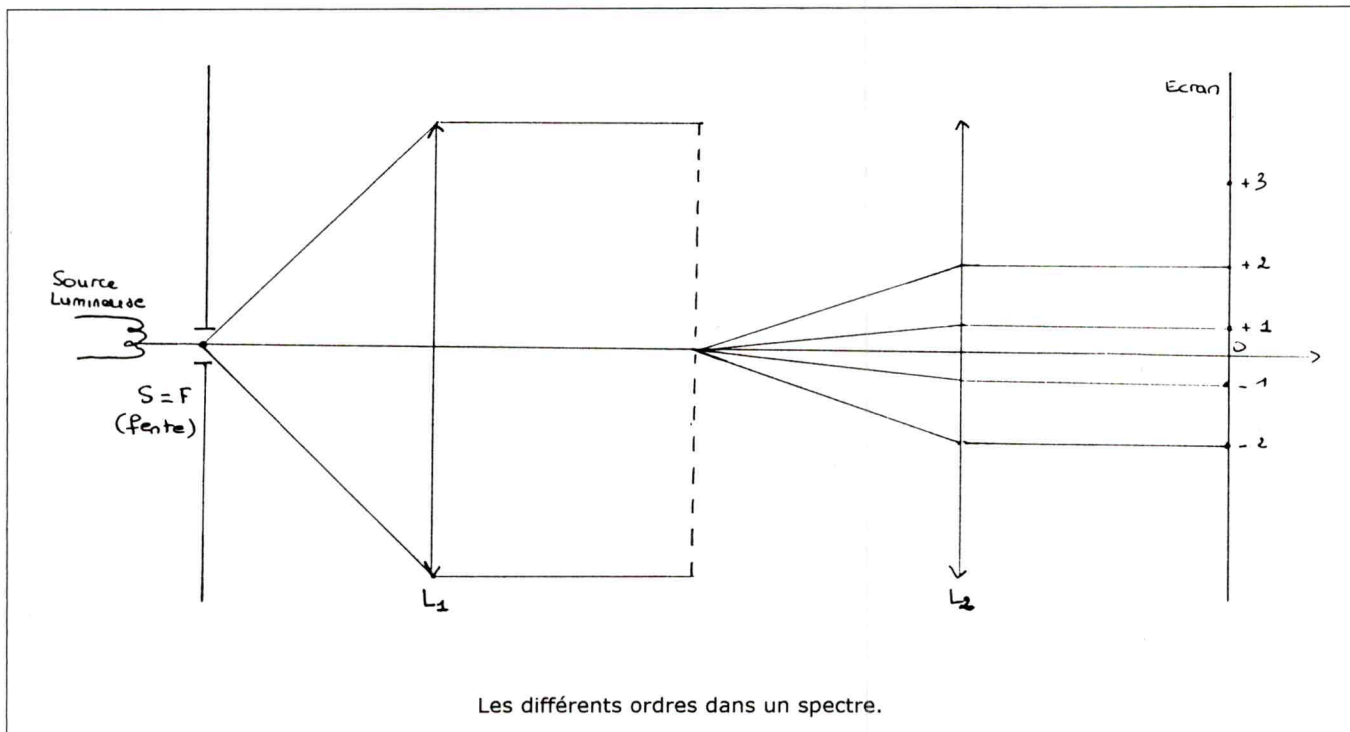
- dans l'ordre 0 : λ_1 et λ_2 sont mélangées.

- dans l'ordre 1 : λ_1 et λ_2 sont séparées.

- dans l'ordre 2 : λ_1 et λ_2 sont séparées et plus écartées que dans l'ordre 1.

Le réseau sépare les longueurs d'onde dans les ordres différents de 0. La séparation est d'autant plus importante que l'ordre est élevé. On pourrait montrer aussi que la séparation est d'autant plus importante que le nombre de fentes, N , est élevé.

Les physiciens traduisent ceci en introduisant la notion de résolution, R .



Plus R est grand, plus le réseau est capable de donner à deux longueurs d'onde voisines des directions suffisamment différentes pour obtenir deux images séparées sur l'écran.

Une grande résolution permet donc un bon "étalement" des longueurs d'onde et nous offre la possibilité d'observer "les détails du message contenu dans la lumière".

Si on éclaire le réseau par transmission, avec une lumière blanche ($400 \text{ nm} < \lambda_v < 800 \text{ nm}$) on observe :

- lumière blanche brillante dans l'ordre 0 ;
- décomposition dans l'ordre 1 ;
- décomposition dans l'ordre 2 : le spectre est plus large ;
- risque de recouvrement des ordres ;
- l'intensité lumineuse diminue quand l'ordre augmente.

L'idéal pour réaliser un spectre serait donc :

- de travailler dans un ordre plus élevé pour une bonne dispersion ;
- qu'il n'y ait pas de risque de recouvrement pour ne pas gêner l'analyse ;
- d'avoir un maximum d'intensité pour une bonne observation.

Le réseau à échelettes permet de :

- concentrer la lumière dans un seul ordre (ici l'ordre 1) ;
- supprimer les autres ordres pour ne pas avoir de recouvrements ;
- avoir une bonne résolution grâce au grand nombre de miroirs (= traits). $N = 30\,000$ miroirs par pouce soit 1181, 098 miroirs par mm.

On peut ainsi réaliser un spectre, par exemple de la lumière solaire, où des détails comme le doublet du sodium ou la raie H_α , peuvent apparaître.

Pour ce faire, il faut préalablement réaliser un étalonnage, qui nous permettra de savoir où sont positionnées les raies dans le spectre, par rapport à une échelle arbitraire.

Notre approche du spectroscope.

Le mardi 14 décembre 1999, nous découvrons pour la première fois le spectroscope prêté par le GAHQ : une boîte blanche, tout à fait banale en apparence...

A l'intérieur, une association de lentilles et un réseau s'offrent à nos yeux émerveillés. Peu à peu, nous avons pris conscience de l'importance et de la complexité de l'appareil.

Au cours d'une première séance, M. Boust et M. Bruneau (professeur de physique en MP au lycée Victor Grignard) nous ont appris à nous servir du spectroscope. Les premiers spectres que nous avons observés sont ceux de la lampe à vapeur de sodium (Na) et à vapeur de mercure (Hg).

Après avoir positionné la lampe en face de la fente d'entrée, nous suivons le trajet des rayons lumineux à l'aide d'un carton blanc. Nous nous assurons par là même que la lampe est bien positionnée en face du miroir, que les rayons sont bien parallèles au réseau et qu'ils sont décomposés par celui-ci. Nous regardons ensuite dans l'oculaire. Suivant la netteté des raies visibles, nous procédons à des réglages. M. Boust et M. Bruneau guident nos gestes hésitants. Ils nous montrent comment agrandir ou rétrécir la fente d'entrée et comment régler l'oculaire afin d'obtenir une image nette du spectre du sodium et du mercure.

A la deuxième entrevue, nous allions déjà beaucoup plus vite dans nos réglages. Les gestes devenaient plus habituels.

Ensuite nous avons appris à étalonner l'instrument, étape capitale dans notre approche du spectroscope. En effet, l'étalonnage doit nous permettre de connaître la position exacte de chaque raie sur une échelle arbitraire. Un compteur avait été implanté sur le spectroscope à cet effet.

Ainsi nous avons pu associer à chaque longueur d'onde des raies (connue) une valeur lue sur le compteur. Nous avons ainsi établi une échelle arbitraire. Les résultats sont consignés dans les tableaux ci-après.

Notre échelle arbitraire	Raies jaunes	Raie verte	Raie violette	Raie violette
1ère mesure	726	665	426	356
2ème mesure	732	660	422	355
3ème mesure	727	660	422	357
4ème mesure	728	663	425	358
Moyenne	728,3	662	423,8	356,5
Longueur d'onde	577 nm	546,1 nm	407,7 nm	?

Notre échelle	Doublet du sodium
1ère mesure	754
2ème mesure	752
3ème mesure	754
4ème mesure	753
Moyenne	753,3
Longueur d'onde	589,3 nm

Au dessus, les résultats concernant la lampe à vapeur de mercure et ci-contre ceux correspondant à la lampe à vapeur de sodium.

Le graphique obtenu (ci-dessous) permet de connaître, pour une longueur d'onde donnée, son équivalence dans notre échelle et vice-versa.

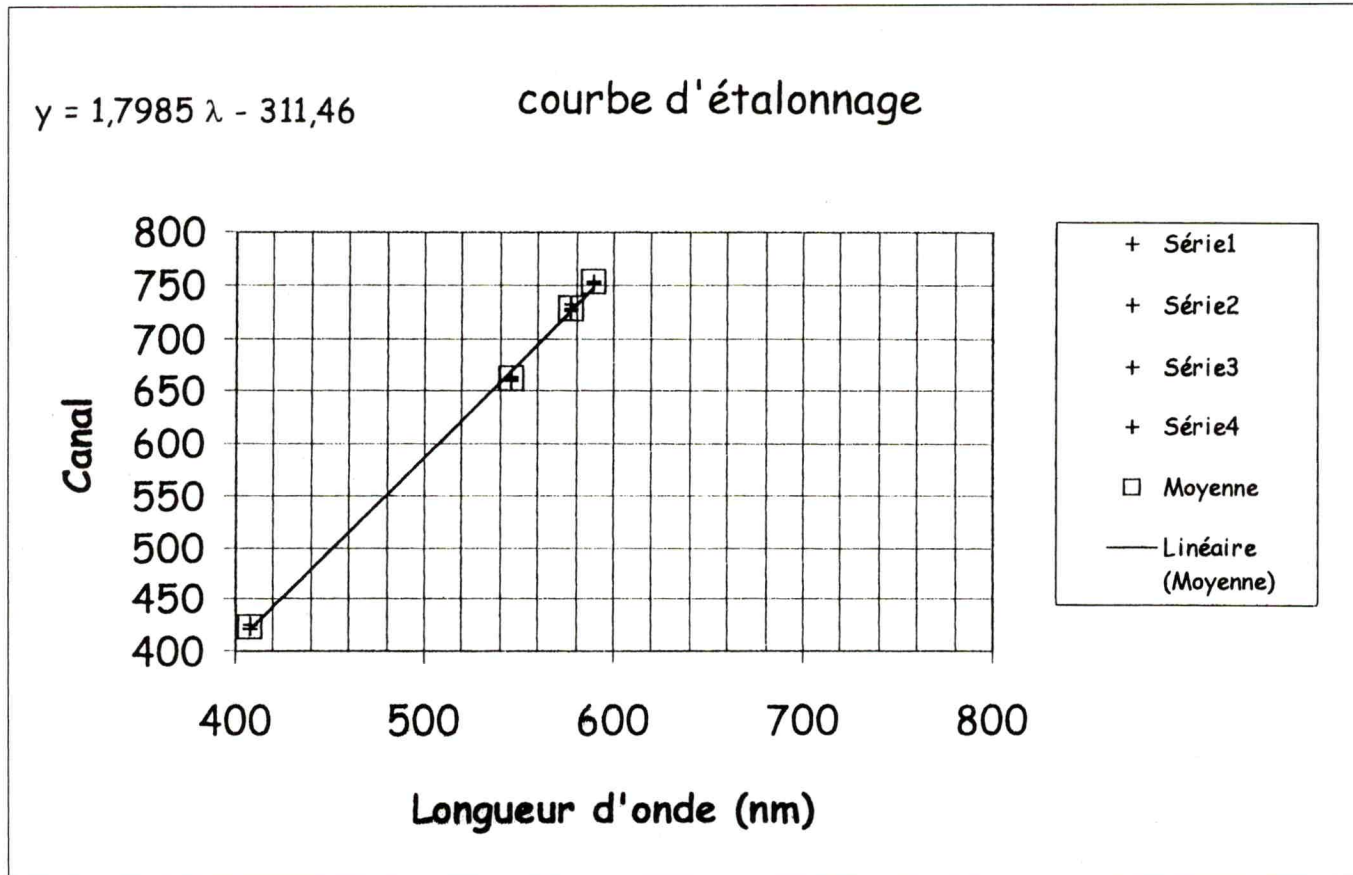
Nos expériences.

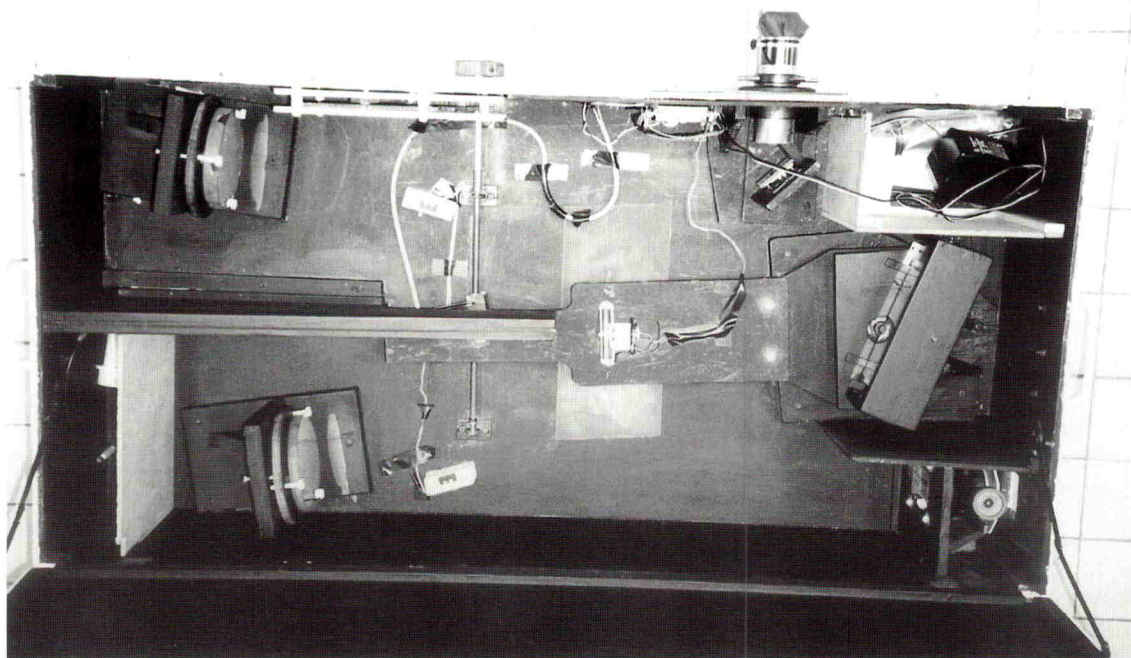
Une première expérience.

Mardi 7 mars 2000, enfin, quelques éclaircies nous permettent d'observer le spectre du Soleil. Aidés par M. Boust, nous installons tout le dispositif : nous plaçons le spectroscope en face d'une fenêtre. A l'aide du miroir du "spinosa" nous captons la lumière du Soleil pour la renvoyer vers la fente du spectroscope. Après avoir suivi le cheminement des rayons solaires, nous baissions le couvercle de l'appareil. Quelques petits réglages et nous pouvons observer le spectre solaire !

Nous avons pu observer un spectre continu sur lequel on peut admirer un nombre considérable de raies sombres.

Ensuite, grâce au graphique préalablement réalisé, nous observons que certaines raies sombres coïncident avec les raies d'émission du sodium. Certaines raies sombres sont particulièrement intenses comme le doublet du sodium.





Le spectroscope vu de dessus.

Interprétation :

Le Soleil émet un spectre continu. On en déduit, d'après les lois de Kirchhof, que le Soleil est constitué d'un gaz sous pression.

Le spectre du Soleil présente aussi des raies d'absorption qui caractérisent les éléments chimiques constituant sa région superficielle : sa région interne est très chaude et sa région superficielle plus froide. Le rayonnement continu émis par le gaz chaud subit une absorption sélective caractéristique des éléments chimiques qui constituent l'atmosphère plus froide. Il y a donc une corrélation entre la composition chimique du Soleil et ces raies.

Ainsi, il semblerait que l'atmosphère du Soleil contienne du sodium.

Une autre expérience :

Aidés de M. Boust, nous avons cherché à établir une formule permettant d'obtenir, à partir de la longueur d'onde de la raie cherchée, sa valeur dans notre échelle arbitraire.

Avec Excel, nous avons établi une formule du type $y = ax + b$.

La formule est la suivante : $y = 1,7985x - 311,46$ avec y le canal et x la longueur d'onde théorique.

Après notre première expérience nous avons voulu affiner l'observation.

Ainsi nous avons procédé à une autre manipulation.

Nous avons remarqué près du doublet du sodium une autre raie à 748 sur notre échelle arbitraire. Cette raie pourrait correspondre à l'hélium neutre ($\lambda = 587 \text{ nm}$).

Pour le vérifier nous avons utilisé la formule ci-dessus. Nous avons remplacé x par la longueur d'onde et effectué le calcul : $(1,7985 \times 587) - 311 = 745,6$.

En tenant compte de l'imprécision de la manoeuvre, cela confirme bien notre hypothèse.

Nous avons recommencé l'expérience précédente en cherchant les raies H_α , H_β , H_γ .

Longueur d'onde théorique	Raie considérée	Canal
587,6	hélium neutre	745,34
656,2	H_α	868,72
486,1	H_β	562,79
434	H_γ	469,09

Les points critiques.

Au cours de notre utilisation du spectroscope, nous avons observé certains inconvénients concernant l'appareil et ses conditions de manipulation.

Ainsi, un changement de la température ambiante ou un choc peut modifier l'étalonnage du spectroscope.

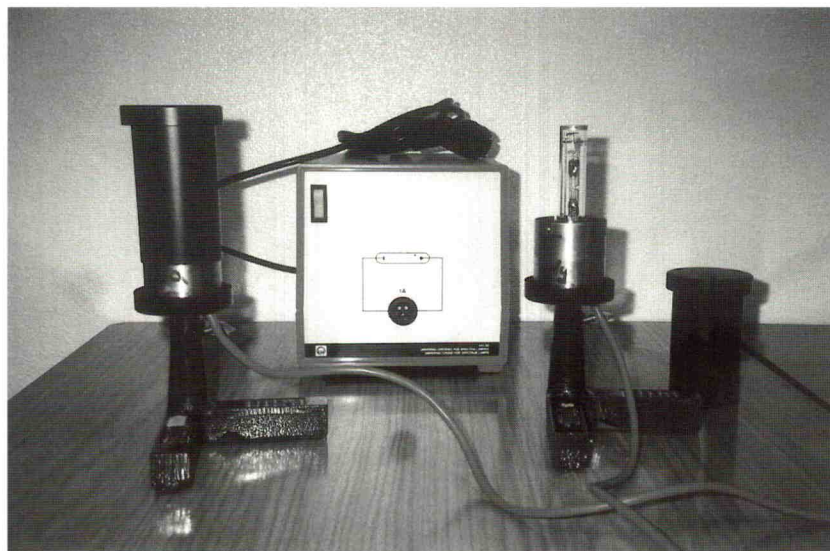
Comme ce dernier n'est muni que d'un seul oculaire (focale de 25 mm), chaque membre de l'équipe a dû passer tour à tour pour observer le spectre. Ceci occasionne perte de temps et divergence sur ce qui a pu être vu. Pour remédier à ce problème, nous pouvons placer une caméra devant l'oculaire et projeter l'image enregistrée sur un téléviseur. Nous pouvons donc faire un commentaire commun.

Pour que les lois de l'optique s'appliquent, la lumière du "spinosa" doit arriver parallèlement dans la fente. Pour cela le centre du miroir doit coïncider avec le centre de la fente. Si le "spinosa" est mal réglé, les rayons incidents seront envoyés dans tous les sens, le réseau ne pourra pas capter et diffracter la lumière. Alors, nous n'obtiendrons pas de spectre.

De même, notre geste est démultiplié par la manette : à chaque observation, nous ne voyons qu'une portion du spectre. Et regarder la totalité du spectre est un travail long et fastidieux, du fait qu'il faut tourner longuement la manette.

Enfin, seul un ciel dégagé nous permet d'utiliser le spectroscope et d'observer la lumière décomposée du Soleil.

En ce qui concerne les lampes de sodium et de mercure qui nous ont servi pour identifier les gaz présents dans le Soleil, lors de leurs études, nous avons pu détecter la présence de raies "étranges" caractérisant des éléments qui ne devraient pas être présents dans les lampes en question. Ce phénomène doit être dû à leur vieillesse et des gaz tels que l'azote et l'hydrogène ont pu s'y infiltrer.





Le calendrier perpétuel

Michel Montangerand

Le calendrier proposé ci-dessous permet, sans calcul ni indice, de déterminer le jour de n'importe quelle date. Il suffit de tourner des heptagones pour placer les index dans les encoches qui correspondent à la date choisie¹.

Il tient compte de la réforme du calendrier en 1582 et peut donc être utilisé aussi bien sur le calendrier grégorien que sur le calendrier julien (à partir de l'an 1, bien que cela n'ait pas de sens puisque l'apparition des semaines date du troisième siècle).

Le principe de la construction et la réalisation pratique peuvent entrer dans le cadre du nouveau programme de physique de seconde (partie thématique sur la mesure du temps).

Sans en comprendre le principe, un élève du cours moyen peut l'utiliser sans difficulté. Je l'ai pour ma part utilisé de nombreuses fois avec des élèves de sixième quand j'enseignais en collège.

Principe de la construction.

La semaine étant formée de sept jours, on comprend aisément pourquoi le calendrier a une forme heptagonale. Quand on avance de sept jours dans l'année, on se déplace de sept cases sur le calendrier : on fait donc un tour complet et on retombe sur le même jour de la semaine.

Le calendrier comprend :

- deux heptagones fixes qui constituent le support ;
- trois heptagones mobiles ;
- un index transparent.

Le calendrier est conçu de telle sorte qu'on passe d'un jour au suivant en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre.

Étudions séparément chacun des heptagones en commençant par le centre. Pour bien comprendre ce qui suit, il faut avoir sous les yeux les différents heptagones.

L'index transparent.

Le plus petit des heptagones ne porte pas d'inscription mais juste un index. Il est à coller sur l'index transparent et permet de faire correspondre le quantième de la date choisie avec le jour de la semaine.

L'heptagone des quantième.

Il ne pose aucun problème. On commence par écrire 1 dans une case puis 2 dans la case suivante (en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre) et ainsi de suite jusqu'à 31.

L'heptagone des mois.

On peut le remplir à l'aide du calendrier d'une année commune (non bissextile) ou en comptant les jours : on place janvier dans une case puis on compte jusqu'à 31 à partir de cette case en tournant

dans le sens des aiguilles d'une montre. On arrive alors dans la case qui précède février. On écrit février dans la case suivante puis on recommence en comptant jusqu'à 28 pour marquer mars qui se trouve dans la même case que février. On procède de même jusqu'à décembre qui se trouve dans la même case que septembre puisqu'il y a 91 jours ($30 + 31 + 30 = 91 = 13$ semaines) entre le 1^{er} septembre et le 1^{er} décembre.

Cet heptagone porte également des mois de janvier et février suivis de la lettre b pour les années bissextiles. Leur position est expliquée dans le paragraphe suivant.

L'heptagone des années.

Dans une année de 365 jours, il y a 52 semaines plus 1 jour ($52 \times 7 + 1 = 365$). Si le 1^{er} avril d'une année tombe un lundi, le 1^{er} avril de l'année suivante tombe un mardi si cette année est commune, un mercredi si cette année est bissextile (à cause du 29 février qui décale d'un jour supplémentaire).

On remplit l'heptagone des années en commençant par 00 puis en écrivant 01 dans la case suivante (en tournant toujours dans le sens des aiguilles d'une montre) puis 02, 03. On laisse alors une case vide entre 03 et 04 pour décaler de 2 jours car les années 04 sont bissextiles. De même, 04, 05, 06, et 07 se suivent puis on laisse une case vide entre 07 et 08 et ainsi de suite jusqu'à 99.

Avec cette méthode, on décale de deux jours tous les mois d'une année bissextile. Or, pour les mois de janvier et février, même pour une année bissextile, le décalage par rapport à l'année précédente n'est que d'un jour puisque ces deux mois sont placés avant le 29 février. Il faut donc placer dans l'heptagone des mois, deux mois supplémentaires appelés janvier b et février b à utiliser dans le cas d'une année bissextile. Ces mois sont décalés d'une case dans le sens contraire des aiguilles d'une montre par rapport aux mois de janvier et février "normaux" pour ramener à 1 jour le décalage.

L'heptagone des centaines d'années.

C'est le premier heptagone fixe. Il indique les centaines d'années et non les siècles. Par exemple, le nombre 19 correspond aux années 1900-1999 c'est-à-dire, en gros, au 20^e siècle (1901-2000). Avant la réforme du calendrier en 1582, une centaine d'années comportait 75 années communes et 25 années bissextiles ce qui représentait $75 \times 365 + 25 \times 366 = 36525$ jours ou 5217 semaines et 6 jours. On passe donc d'une centaine d'années à la suivante en reculant d'un jour c'est-à-dire en tournant d'une case dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. C'est ainsi que sont écrits les nombres 0, 1, 2... jusqu'à 15 J (calendrier julien).

Pour passer de 15 J à 15 G (calendrier grégorien), il faut supprimer 10 jours (en France, le lendemain du dimanche 9 décembre 1582 fut le lundi 20). On tourne donc dans le sens des aiguilles d'une montre, de 11 cases partir de 15 J ou de 10 cases à partir de la case voisine.

Dans le calendrier grégorien, les années séculaires dont le nombre des centaines n'est pas divisible par 4 ne sont plus bissextiles. On supprime ainsi 3 jours en 400 ans.

Le nombre 16 étant divisible par 4, l'année 1600 fut bissextile et on passe de 15 G à 16 par déplacement d'une case à l'envers comme pour les autres centaines d'années du calendrier julien. Pour 1700, 1800 et 1900, les années ne sont pas bissextiles. On perd donc un jour supplémentaire (5217 semaines et 5 jours par centaine d'années) et il faut décaler de deux cases à l'envers pour passer de 16 à 17 puis de 17 à 18 et de 18 à 19.

L'année 2000 étant bissextile, on passe de 19 à 20 en décalant d'une seule case puis en décalant de 2 cases pour 21, 22 et 23...

Le calendrier est gradué jusqu'à l'an 3099 mais rien n'empêche de poursuivre... Reste à savoir s'il n'y aura pas une réforme d'ici là car le calendrier actuel n'est pas en total accord avec la révolution de la Terre.

L'heptagone des jours.

Il est fixe par rapport à l'heptagone précédent mais la position relative des deux heptagones du support dépend de la position des index sur chacun des heptagones mobiles. Il y a donc plusieurs possibilités. Il suffit de choisir une date dont le jour est connu pour placer les index extérieurs sur les heptagones mobiles successivement à partir du centre. On trouve ainsi la position relative des deux heptagones fixes qui ne change plus par la suite.

Réalisation pratique.

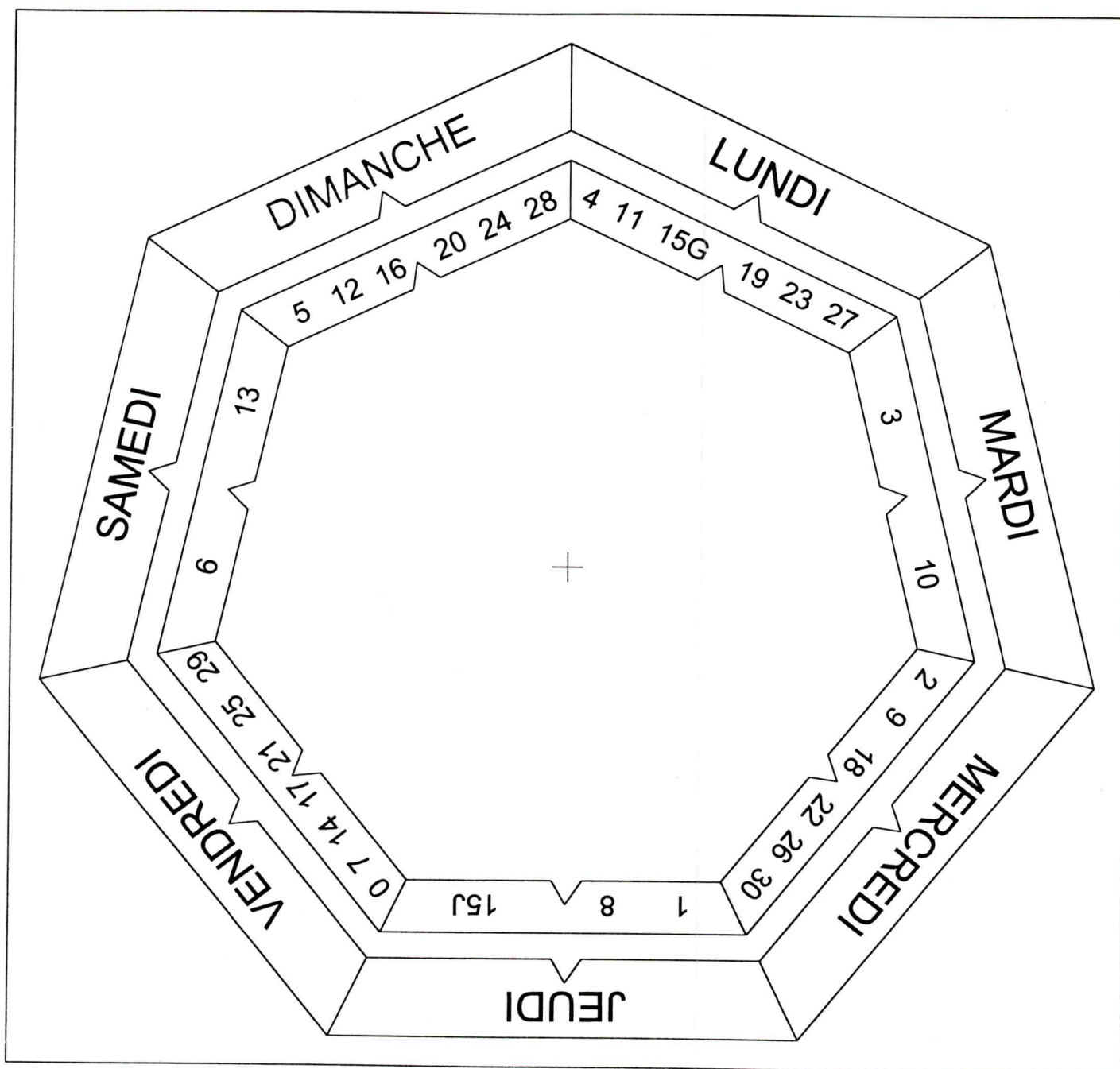
Les heptagones mobiles sont à coller (avec de la colle en bâton) sur du bristol ou du papier dessin assez épais (sauf le plus petit). On peut également photocopier la feuille directement sur du papier épais. Découper ensuite le contour à l'aide d'un cutter ou d'une paire de ciseaux. On peut, pour les rendre plus visibles, passer au feutre rouge les index triangulaires de chaque heptagone. On peut également colorier les différents heptagones avant de les assembler.

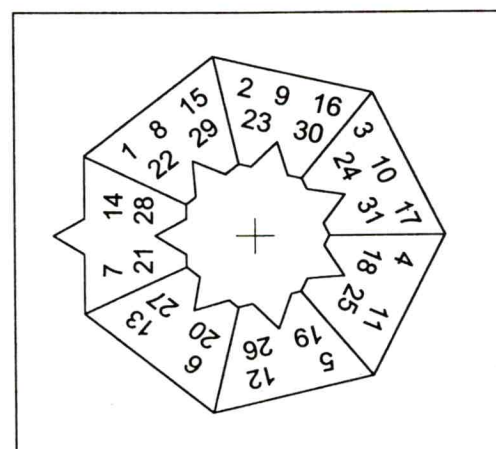
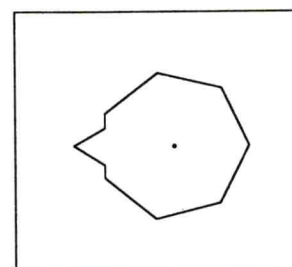
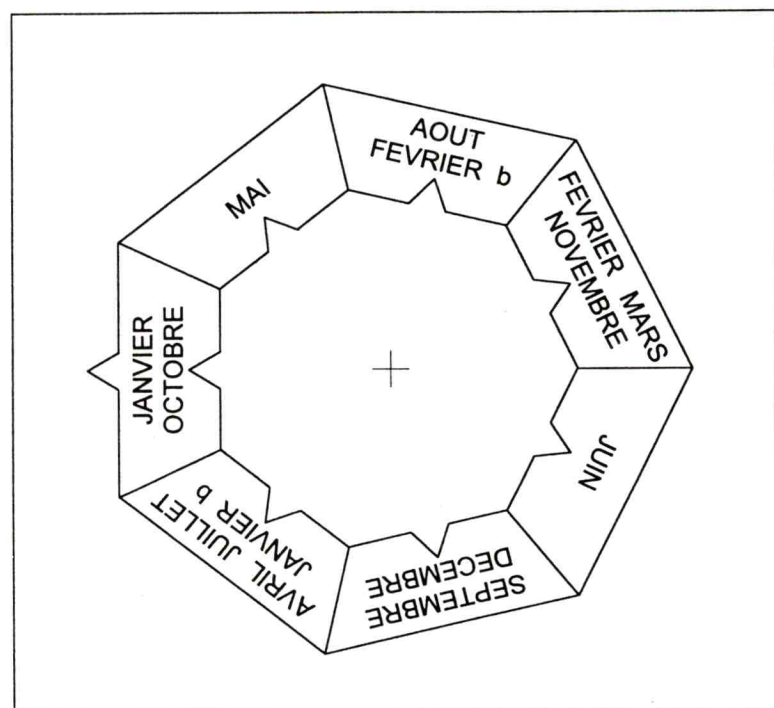
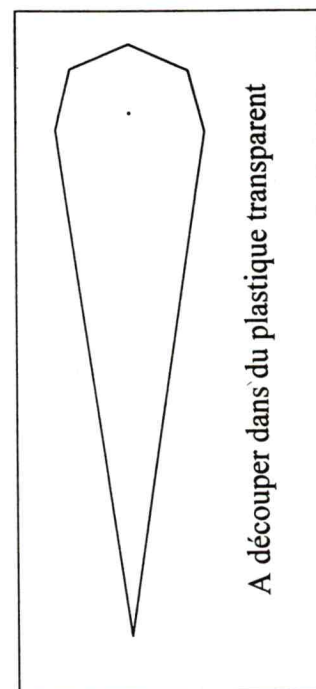
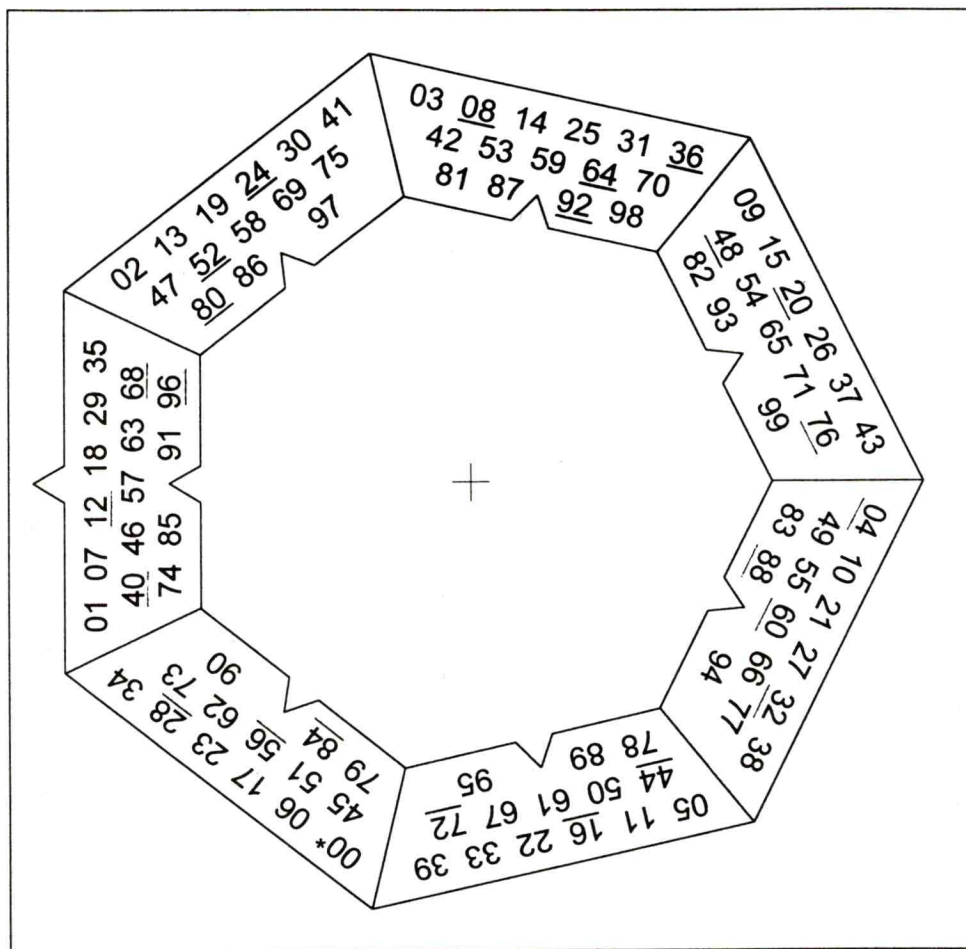
L'index transparent doit être découpé dans du plastique. Les gâteaux vendus dans les grandes surfaces ont des boîtes dont le couvercle convient très bien. Coller sur le plastique (la colle en bâton convient toujours) le plus petit des heptagones de telle sorte que l'index soit du côté de la pointe. Avec un marqueur indélébile toute matière, on peut colorier en rouge l'extrémité de la pointe.

Le cadre contenant les heptagones fixes doit être collé sur du carton "plume" de 5 mm d'épaisseur.

Enfiler sur une épingle les différents heptagones en commençant par l'index transparent pour finir par le carton "plume" en faisant bien attention de percer au centre de chaque croix.

Retourner l'ensemble, creuser un "cratère" autour de l'épingle avec le cutter. Couper l'épingle avec une pince coupante puis remplir le cratère avec de la colle genre "super glue". Bien laisser sécher.





Exemples d'utilisation.

Recherche du jour correspondant à une date donnée.

C'est l'utilisation la plus courante et la plus simple.

Cherchons par exemple quel jour Galilée a murmuré : "Et pourtant, elle tourne !" en sortant du tribunal du Saint-Office où il venait d'être condamné pour hérésie, le 22 juin 1633.

Pour cela, placer l'index du plus grand heptagone mobile (celui des années) dans l'encoche qui correspond aux années 1600 (juste en dessous du dimanche).

Bloquer cet heptagone en tenant le calendrier puis tourner l'heptagone des mois pour placer son index dans l'encoche correspondant à l'année 33 (sous vendredi).

Bloquer cet heptagone avec le précédent puis tourner celui des quantités pour mettre son index dans l'encoche du mois de juin.

Il reste à tourner l'index transparent jusqu'à ce que le petit heptagone pointe dans l'encoche du 22. L'index transparent indique alors le jour cherché : c'était un mercredi.

On peut vérifier de même que :

- le 14 juillet 1789 était un mardi ;
- le 1^{er} janvier 2100 sera un vendredi (il faut utiliser le mois de janvier normal car 2100 ne sera pas bissextile),
- le 1^{er} janvier 2400 sera un samedi (en utilisant cette fois janvier b car 2400 est bissextile) ;
- le 1^{er} avril 1515 était un

dimanche (en utilisant 15 J car la date choisie se situe avant 1582) ;

- le 21 mars 1590 était un mercredi (en utilisant 15 G car la date choisie se situe après 1582).

Recherche des vendredis 13 d'une année donnée.

On peut constater en regardant l'heptagone des mois qu'il ne peut y avoir au maximum que 3 vendredis 13 dans une année :

- en janvier, en avril et en juillet dans le cas d'une année bissextile ;
- en février, mars et novembre dans le cas d'une année commune.

Cherchons par exemple les vendredis 13 de l'année 2005 :

L'heptagone des années et celui des mois se règlent de la même façon que dans l'exemple précédent : on place l'index des années dans l'encoche correspondant au 20 puis l'index des mois dans l'encoche correspondant à l'année 05. Il faut ensuite placer l'index transparent dans l'encoche du vendredi puis faire tourner l'heptagone des quantités jusqu'à ce que le 13 soit sous le transparent (index du petit heptagone dans l'encoche du 13). L'index des quantités indique alors le mois de mai. Il n'y aura donc qu'un vendredi 13 en 2005.

On peut de la même façon rechercher le premier dimanche du mois de mars 2351 (dimanche 4) ou les mois qui ont commencé par un samedi en 1887 (janvier et octobre).

Recherche des années 1900-1999 dont le 1^{er} janvier était un lundi.

Placer l'index des années dans l'encoche qui correspond au 19 (entre 15 G et 19) puis l'index transparent sur lundi. Sans modifier ces réglages, placer l'index du petit heptagone dans l'encoche du 1^{er} en tournant l'heptagone des quantités. Il faut ensuite procéder en deux temps :

- tourner l'heptagone des mois pour placer l'index des quantités dans l'encoche janvier. L'index des mois indique alors les années communes : 1900 ; 1906 ; 1917 ; 1923 ; 1934 ; 1945 ; 1951 ; 1962 ; 1973 ; 1979 et 1990.

- tourner l'heptagone des mois pour placer l'index des quantités dans l'encoche janvier b. L'index des mois indique alors les années bissextiles : 1912 ; 1940 ; 1968 et 1996.

Note :

Ce sujet a déjà été traité à plusieurs reprises par des membres du CLEA :

1- Construction et mode d'emploi d'un calendrier perpétuel par Jean-Paul Parisot (CC 31, hiver 1985).

2 - Un calendrier perpétuel par Michel Toulmonde (CC n°76, hiver 96-97). Cet article propose un algorithme de calcul.

3 - Le HS n°3 : le temps et les constellations réalisé par Josée Sert, Cécile Schulman et Gilbert Walusinski contient une fiche : le calendrier perpétuel.

Quelques références bibliographiques sur les calendriers.

"La question du calendrier" ; Abbé Chauve-Bertrand, La Renaissance du livre Paris, 1920.

"Le calendrier : Histoire du monde" ; Ph. Vidal ; éd. Traditionnelles, 1978.

"Le calendrier" ; Paul Couderc ; que sais-je ? ; PUF, n° 203, 6^e édition, 1986.

"HS n°3 : le temps et les constellations" ; Josée Sert, Cécile Schulman et Gilbert Walusinski, 1991.

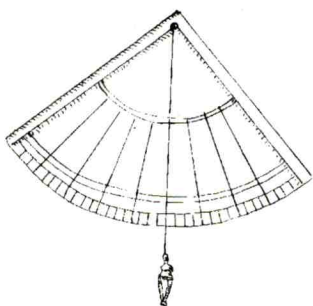
"Calendriers et chronologie" ; Jean-Paul Parisot, et Françoise Suagher ; Masson, 1996.

"Le temps compté, le temps conté" ; David Ewing Duncan ; NIL éditions.

"La saga des calendriers ou le frisson millénariste" ; Jean Lefort ; Pour la Science, Belin 1998.

"Numéro spécial de "M13" sur les calendriers" ; Jacques Gispert ; bulletin de l'Association Marseillaise d'Astronomie (déc. 99), centre d'animation de quartier du Petit Bosquet, 213, avenue de Montolivet, 13012 Marseille.

"Rythmes du temps, astronomie et calendriers" ; Emile Biémont ; De Boeck, 2000.



HISTOIRE

Emmanuel LIAIS 1826- 1900

Lycée Victor Grignard, Cherbourg

A l'occasion de la semaine de la science, un travail de recherche a été effectué au lycée Victor Grignard sur Emmanuel Liais, astronome cherbourgeois. Notre ami René Cavaroz, proviseur, nous propose de découvrir la vie riche et quelque peu mouvementée de ce savant mal connu du XIX^e siècle.

1826-1852 Cherbourg Les premiers travaux scientifiques

Emmanuel Liais est né à Cherbourg le 15 février 1826, issu d'une famille de négociants originaire de Cherbourget des villages voisins : Tollevast et Hardinvast. Il ne reste que peu de traces sur ses jeunes années. Emmanuel Liais fit une brillante scolarité au collège de Cherbourg, surtout dans les domaines scientifiques. L'opuscule de distribution des prix du collège mentionne le 16 août 1843 : un premier accessit de mathématiques, un prix de physique, un prix de chimie (deux fois couronné) un prix d'histoire naturelle (trois fois couronné).

En 1847 et 1852, il rédige ses premiers travaux d'astronomie et de météorologie, effectue des études sur les instruments de mesures astronomiques et l'amélioration de leur précision. Il visite l'Observatoire de Paris en 1852 et rencontre François Arago, alors directeur.

Cette même année, il fonde la société des sciences de la ville de Cherbourg avec Théodose du Moncel (physicien) et Auguste Le Jolis (botaniste). La première séance eut lieu le 24 août 1852.

1853-1858 L'Observatoire de Paris

Début 1853 Emmanuel Liais travaille à l'Observatoire de Paris sous la direction d'Arago. Après le décès de celui-ci le 2 octobre 1853, c'est Urbain Le Verrier qui prend la direction en janvier 1854. Les relations entre les deux hommes sont pour le moins conflictuelles. Emmanuel Liais est fait Chevalier de la Légion d'honneur en juin 1856. En janvier 1857, il est nommé astronome titulaire.

Durant cette période, Emmanuel Liais :

- poursuit ses études météorologiques, en particulier sur les questions de transmission des informations et prévisions du temps et participe ainsi à la création du bulletin météorologique quotidien de l'Observatoire de Paris (source du conflit avec Le Verrier qui ne lui en reconnaît pas la paternité) se consacre à l'amélioration d'appareils de mesure du temps : mise au point d'un système d'horloge (régulateur), mise au point d'un chronographe électrique à mouvement lent et à marqueurs de secondes.



- perfectionne les procédés pour déterminer la position des étoiles (le micromètre impersonnel, attribué à Carl Braun et Antoine Rédier en 1865, dont les premiers modèles sont commercialisés en 1890 par Adolf Repsold) ;

- généralise le recours aux observations azimutales (mesures d'angles autour de la verticale et mesure de temps de passage des astres) pour déterminer les coordonnées des étoiles (supprime les inconvénients de flexion des lunettes méridiennes et les aléas de la réfraction atmosphérique).

Les relations avec Le Verrier étant de plus en plus tendues, Emmanuel Liais profite d'une mission au Brésil, où une éclipse de Soleil totale doit être visible en 1858, pour quitter l'Observatoire de Paris.

1858 - 1871 Premiers séjours au Brésil

Après son mariage avec une hollandaise, Margaritha Trouwen Van Kranenbroeck, Emmanuel Liais part pour le Brésil.

Le 7 septembre 1858, il participe à l'observation de l'éclipse solaire à Paranagua au sud de Rio de Janeiro où il est remarqué par l'empereur Don Pedro II d'Alcantara qui l'invite à demeurer au service de son pays.

En 1859, il établit la cartographie de la région de Pernambuco par des relevés astronomiques à l'aide d'un observatoire mobile installé à Olinda (au nord de Recife).

En 1862 il est chargé de procéder à la cartographie du fleuve Sao Francisco dans le but de relier par voie fluviale Rio de Janeiro aux régions du nord, observations consignées dans l'ouvrage *Hydrographie de Sao Francisco*.

Retour en France entre 1864 et 1867. Emmanuel Liais publie ses deux principaux ouvrages : en 1865, *L'Espace céleste* (oeuvre de vulgarisation sur l'astronomie et la nature tropicale) et en 1867, le *Traité d'Astronomie* (exposé des méthodes d'observations azimutales et emploi du micromètre impersonnel).

De 1867 à 1871, second séjour au Brésil où il étudie un projet de chemin de fer entre Rio et Sabara et prépare un livre sur le Brésil. Pedro II le contacte pour la direction de l'Observatoire de Rio de Janeiro.

1871 - 1881 L'observatoire de Rio de Janeiro

Emmanuel Liais rentre en France de 1871 à 1874, période durant laquelle il fait paraître deux ouvrages en 1872 : l'un scientifique, *Climats, géologie, faune et géographie botanique au Brésil*, l'autre politique, *Suprématie intellectuelle de la France*. En 1873, est présenté à l'Exposition Universelle

de Vienne son appareil "azimutal". Le 29 mai 1874, meurt Margaritha Liais à l'âge de 41 ans, des suites de fièvres tropicales. Son goût pour le dessin et la peinture permirent à Emmanuel Liais d'enrichir ses travaux lors de ses différentes expéditions.

Dès 1871, Emmanuel Liais est sollicité par Pedro II pour prendre la direction de l'Observatoire de Rio de Janeiro. De 1874 à 1881, il effectue son troisième séjour au Brésil à la tête de cet observatoire. Durant cette période, il fait rénover les bâtiments et dote ceux-ci de nombreux appareils destinés à l'observation des astres et à la détermination de leur position.

Pendant sa gestion de l'Observatoire Impérial, il se heurte à l'hostilité d'un de ses collaborateurs : Manuel Pereiras Rei. Cette contestation le conduit à démissionner en février 1881.

1881 - 1900 : Cherbourg L'homme politique

De retour en France, Emmanuel Liais se consacre aux affaires publiques. Républicain modéré, il est élu de justesse maire de Cherbourg en 1884. Aussitôt, il se heurte à l'opposition systématique et virulente du député François la Vieille et de ses fidèles, pendant deux années. Suite au refus en bloc du budget 1887, il donne sa démission en décembre 1886.

De 1892 à 1900, il est à nouveau élu maire de Cherbourg et conseiller général. Son deuxième mandat sera moins agité que le premier. Il s'occupera notamment des problèmes d'adduction d'eau, de l'installation d'un réseau de tramways, de la lutte contre le choléra, de la construction de nouveaux établissements scolaires.

La visite du tsar Nicolas II à Cherbourg le 5 octobre 1896 en présence du président de la République Félix Faure reste le moment fort de cette magistrature.

Emmanuel Liais meurt le 5 mars 1900. Il repose au cimetière de Hardinvast auprès de sa femme.

N'oublions pas les Jeremiah Horrocks

K. Mizar

Gilbert Walusinski, avec son style savoureux, fait ici l'apologie des personnages obscurs qui ont contribué à l'avancée de la science.

Il a choisi de nous parler plus particulièrement de Jeremiah Horrocks (1617-1641) qui se passionna pour l'astronomie et adopta les idées de Kepler.

Dans la préface de ses souvenirs d'enfance et de jeunesse, Ernest Renan nous délivre un hymne au progrès comme nul n'oserait l'écrire aujourd'hui, après Auschwitz et Hiroshima. Les lignes qui suivent ont été écrites il y a plus de 100 ans...

"J'aime le passé mais je porte envie à l'avenir. Il y aura eu de l'avantage à passer sur cette planète le plus tard possible. Descartes serait transporté de joie s'il pouvait lire quelque chétif traité de physique et de cosmographie écrit de nos jours. Le plus simple écolier sait maintenant des vérités pour lesquelles Archimède eût sacrifié sa vie. Que ne donnerions-nous pas pour qu'il nous fût possible de jeter un coup d'oeil furtif sur tel livre qui servira aux écoles primaires dans cent ans ?"

Soyons indulgents pour la confiance que Renan faisait aux manuels actuels. Retenons l'idée de la comparaison des conceptions du monde d'un Archimède ou d'un Descartes avec celles qui sont popularisées dans les médias de notre temps. Ajoutons-y une réserve : Renan cite Descartes et Archimède et il est vrai que chacun, dans son temps a ouvert une nouvelle fenêtre. Mais il ne faut pas penser exclusivement à ceux qui, d'un coup de génie ont amorcé de nouvelles voies à la recherche. Il y a une foule de personnages obscurs dont les oeuvres patientes et modestes ont su nettoyer les carreaux ou huiler les espagnolettes des fenêtres ouvertes par les grands savants dont l'Histoire a retenu les noms.

J'y pensais en relisant dans "a history of Astronomy" de Pannekoek, les

deux seules allusions qu'il y ait fait aux travaux de Jeremiah Horrocks (que Pannekoek orthographe Horrox). Je prends donc ce Jeremiah Horrocks comme représentant de ces artisans obscurs qui, ne serait-ce que d'un petit pas, ont fait avancer la science.

Je n'ai trouvé, jusqu'ici, que de brèves indications biographiques dans **Encyclopaedia Britannica** qui présente Jeremiah Horrocks comme un clerc, né en 1617 à Toxteth Park, près de Liverpool. Il a fait ses études au Emmanuel Collège de Cambridge de 1632 à 1635. On peut penser que c'est là qu'il prit goût à l'astronomie en adoptant les idées alors toutes neuves de Kepler. Mais il lui fallait suivre des études normales et il fut ordonné prêtre et curé de Hoole, dans le Cheshire en 1639.

Jeremiah sut gérer les obligations de sa cure avec sa passion pour l'astronomie et en menant ses calculs d'après les tables rudolphines que Kepler avait publiées depuis peu (1627) il put pronostiquer un transit de Vénus le dimanche 24 novembre 1639. On imagine que le jeune curé sut arranger avec ses fidèles l'horaire du culte pour lui permettre d'observer ce passage. Mais alors que Gassendi nous donne force détails sur son observation du passage de Mercure (le 7 novembre 1631), je n'ai trouvé aucune information sur ce passage de Vénus, observation qui fut une grande première avant les célèbres mesures des transits suivants de Vénus (1761 et 1769).

Toujours en utilisant les tables rudolphines de son maître Kepler, Hor-

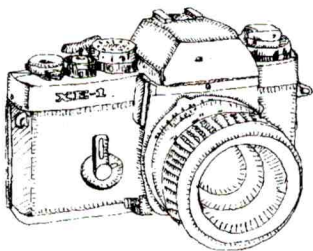
rocks met en évidence des inégalités dans le mouvement de la lune et suggère d'attribuer le phénomène à l'action du Soleil. C'est presque l'idée de ce que les disciples de Newton appelleront perturbation. Dans le même ordre de phénomènes, Horrocks relève des inégalités dans les mouvements de Jupiter et de Saturne.

Enfin, à son palmarès, il faut ajouter la réduction de la parallaxe du Soleil à 14", un succès pour l'époque, obtenu par la méthode de Wendelin reprenant l'idée d'Aristarque : déduire la parallaxe du Soleil de celle de la Lune.

En tout cas, l'oeuvre astronomique de Jeremiah Horrocks ne peut être bien longue, ce bon et jeune artisan de la science meurt le 3 janvier 1641, il n'avait pas encore 24 ans.

Les dates entraînent naturellement un rapprochement avec l'oeuvre de Descartes (1637). Mais alors que celui-ci, avec sa physique des tourbillons ne trouve pas de justification à l'ovalisation des orbites planétaires et semble ignorer les lois de Kepler, l'enseignement de Cambridge, qui a formé Horrocks, était alors en avance sur ce que Descartes pouvait connaître. Il y a donc, dans l'histoire des sciences, des grands savants dont le génie parfois nous éblouit au point de négliger le travail et les observations de chercheurs plus modestes.

N'oublions pas tous ceux qui, comme Jeremiah Horrocks, ont fait des petits pas dans la découverte.



REPORTAGES

Le musée des arts et métiers

Martine et Michel Bobin

Après dix ans de travaux, le musée des arts et métiers¹ présente une nouvelle exposition permanente dans le cadre rénové de l'ancienne abbaye de Saint-Martin-des-Champs. Fini le temps des salles poussiéreuses au parquet grinçant sous les pas, le nouveau musée est un régal des yeux et les objets exposés sont superbes. C'est un lieu pour la découverte, l'imagination, le souvenir et l'émotion.

En 1794, l'abbé Henri Grégoire, député de la Convention, propose la création d'un "Conservatoire pour les arts et métiers" afin d'y réunir les outils et machines nouvellement inventés ou perfectionnés. L'objectif est d'éveiller la curiosité et de permettre aux artisans de copier les bons modèles.

Tout au long du XIX^e siècle, une tradition de dépôt d'œuvres originales et une politique volontariste d'acquisition permettent à l'institution de jouer son rôle éducatif et récréatif. L'âge d'or de la mécanique est aussi celui du musée.

Durant le XX^e siècle le musée devient progressivement un lieu immobile et peu fréquenté...

La nouvelle exposition permanente propose un parcours dans l'histoire des techniques et celle de la collection.

Le musée est partagé en sept domaines (instrument scientifique, matériaux, construction, communication, énergie, mécanique et transports) tandis que la chapelle contient les objets les plus volumineux.

Pour chacun des 7 domaines :

- de nombreuses vitrines agréablement éclairées présentent des collections d'objets ;

- certains d'entre eux sont accompagnés d'un dispositif vidéo d'animation : l'objet ainsi que son utilisation sont décrits et replacés dans un contexte social, économique ou politique ;

- un atelier d'animation (avec présence d'un démonstrateur) permet de manipuler les modèles et de réaliser des expériences ;

- enfin un dispositif baptisé "kiosque" donne accès aux autres musées, aux métiers et aux formations concernant ce domaine.

Instrument scientifique.

Les combles magnifiquement réhabilités présentent des instruments de mesure, et des machines à calcul. Sphères célestes, astrolabes et cadrans solaires méritent le déplacement. On peut admirer aussi les machines à calculer de Pascal, les chronomètres de marine, les microscopes...

La reconstitution du laboratoire de Lavoisier est particulièrement saisissante.

Matériaux.

Art du feu, fibres naturelles, mécanique, textile, sidérurgie, machines à vapeur, marqueterie, aluminium, chimie, plastique, sont proposés dans ce domaine.

Construction.

De nombreuses maquettes d'immeubles, de charpenterie, maçonnerie et serrurerie voisinent avec celles des engins de génie civil (grues, tunneliers).

Communication.

Des débuts de l'imprimerie à la micro-informatique Mais en se centrant surtout sur le XX^e siècle, on verra pour ce domai-

ne les arts graphiques, la photographie, la télégraphie, le cinéma, le son, le téléphone, la radio, la télévision et l'on admirera en passant la chambre de Daguerre, un prototype des frères Lumière, le phonographe d'Edison, le cohéreur de Branly, le téléphone de Bell, le satellite Telstar etc...

Energie.

Moulins à vent, à eau, machines à vapeur, dynamos, moteurs divers... Ce domaine couvre un vaste champ allant des énergies renouvelables à l'énergie nucléaire. On y rencontre Papin, Watt, Volta, Gramme, Lenoir, Diesel...

Mécanique.

Le mouvement : leviers, treuils, poulies, engrenages. La petite mécanique : tours, horlogerie, serrures. Les machines-outils : fraisage, rabotage, filetage, alésage.

Transports.

Par mer, par route, par voie d'eau, par voie ferrée et par air. La première période est centrée sur le bateau et le cheval, puis le chemin de fer pour le XX^e s, avant l'automobile et l'avion. Quelques pièces exceptionnelles : l'Eole III de Clément Ader, le fardier de Cugnot, la Pacific 231, la Ford T.

La Chapelle.

La visite se termine par la chapelle dont la rénovation a mis à jour les vestiges d'une église du VI^e siècle (sarcophages mérovingiens) tout en remettant en valeur la polychromie flamboyante de la nef.

Le pendule de Foucault a repris sa place dans le chœur. Une "ziggourat" métallique permet d'approcher à la fois les structures architecturales et les plus célèbres exemples de l'histoire de l'automobile et de l'aviation.

En conclusion, nous ne saurions trop vous conseiller d'y consacrer au moins une visite (en passant par la station de métro (ligne 11) "Arts et Métiers", tout de cuivre carrossée).

L'enseignant scientifique cependant, sera peut-être un peu frustré par le peu d'explications attachées à la majorité des objets présentés. Pourtant, n'est-ce pas l'abbé Grégoire lui-même qui évoquait "les figures parlant aux yeux" ?



Le pendule de Foucault dans l'église Saint-Martin des Champs.

La didactique nous semble trop s'effacer devant "le thriller anthropologique". C'est sans doute une tendance de la muséographie moderne de privilégier l'aspect esthétique, magique et mystérieux. Comme en témoignent ces lignes de la directrice du musée, Dominique Ferriot² : "La muséographie veut faciliter l'exercice de la mémoire mais aussi de l'imagination. Outil de culture technique, le Musée est un lieu d'éducation mais aussi et peut-être d'abord (sic) le lieu d'une émotion, celle qui nous fait retrouver, enfouie au cœur des mécanismes, la créativité d'hommes et de femmes qui nous font

partager leur aventure, leurs échecs et leurs réussites".

Notes :

1 - Musée des arts et métiers, 60 rue Réaumur 75003 Paris. Métro : Arts et Métiers. Ouvert tous les jours sauf lundis et jours fériés de 10 h à 18 h. Nocturnes les jeudis jusqu'à 21 h 30.

tel : 01 53 01 82 00 ;

Mél : <http://www.cnam.fr/museum/>

2 - Le musée des arts et métiers, numéro spécial de "Beaux Arts" magazine.



La distance de la Lune

Pierre Causeret

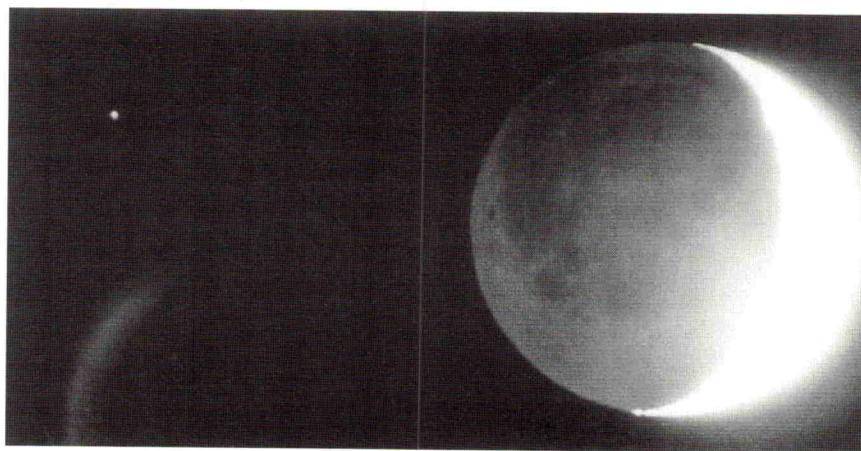
Un problème plus difficile ce mois-ci puisqu'il s'agit de calculer la distance de la Lune. Le principe est simple, il est d'ailleurs au programme de physique de seconde, mais l'application est nettement plus délicate, comme vous pourrez le constater.

Les conditions.

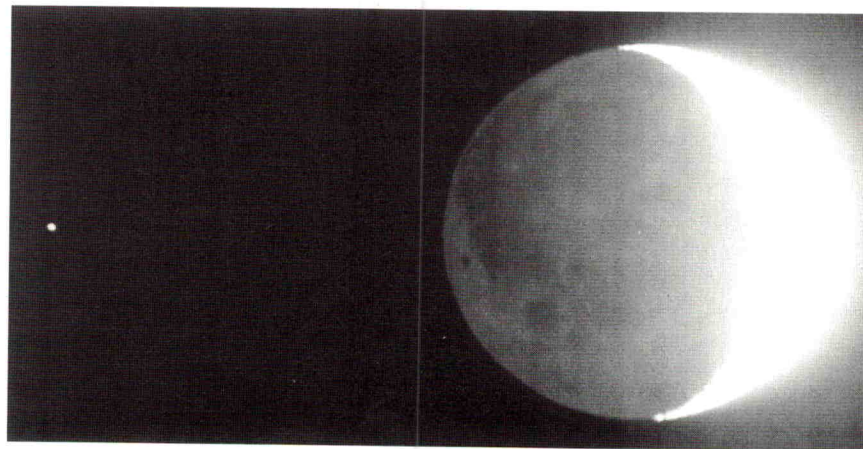
Le 12 décembre 1999, la Lune passait devant la planète Mars. Nous avons essayé à trois personnes de photographier le rapprochement des deux astres puis l'occultation depuis différents lieux. Francis Berthomieu a branché un groupe d'élèves sur le sujet et a pu faire plusieurs clichés dans la région de Draguignan. Josep M. Bosch, à Tarrega en Espagne a photographié le

phénomène avec son Schmidt / Cassegrain de 2 m de focale avec réducteur. Moi-même, depuis ma Bourgogne, je devais photographier l'évènement avec un groupe d'élèves mais à l'heure du rendez-vous, un orage violent sévissait et aucun élève n'était là. Par chance, le ciel s'est découvert un peu plus tard et j'ai pu faire quelques photos depuis chez moi avec un télescope de 1,50 m de focale. J'ai en même temps mesuré la hauteur de la Lune et son azimut. Nous avions prévu de faire une photo toutes les demi-heures.

Je vous propose de chercher la distance de la Lune à partir de deux pho-



Lorgues le 12/12/1999 à 18hTU



Esbarres le 12/12/1999 à 18hTU

tos prises à 18h TU, la première depuis Lorgues, la deuxième depuis Esbarres. J'ai choisi ces deux clichés car, étant donné la position de la Lune, les lignes de visée Esbarres-Lune et Lorgues-Lune sont les plus éloignées (au départ de la Terre). De plus, sur ces photos ayant un temps de pose un peu plus long, on observe des détails sur la face de la Lune à l'ombre (grâce au clair de Terre) et ces détails seront bien utiles dans les mesures. Pour vous éviter trop de travail, les photos ci contre ont déjà été transformées pour que la Lune ait le même diamètre sur chacune d'elles.

Les données

Coordonnées de Lorgues : 6,32° Est ; 43,48° Nord

Coordonnées d'Esbarres : 5,22° Est ; 47,10° Nord

A 18h TU (au moment de la photo) à Esbarres : hauteur de la Lune : 15° ; azimut : 40° (à l'ouest du sud) ; diamètre apparent de la Lune : 0,5°

Aide

Un des points difficile est de mesurer le déplacement de la Lune par rapport à Mars (ou de Mars par rapport à la Lune). On pourra utiliser le cratère Grimaldi qui est le petit point noir situé à gauche sur la face obscure.

Solution au problème du CC 90.

Dans le cadre ci-contre, le premier dessin représente la Lune vue de la Terre (cf. photo du CC 90) et le deuxième la Lune vue depuis le nord de l'écliptique. L'âge de la Lune nous est donné par l'angle LOT qui vaut 0° à la nouvelle Lune, 90° au Premier Quartier et 180° à la Pleine Lune. C'est d'ailleurs le supplémentaire de l'angle Soleil Lune Terre appelé angle de phase.

On mesure sur la photo le rayon de la Lune (30 mm), LH (11 à 12 mm) et on en déduit OH puis la mesure de TOH (51° à 53°).

Si on suppose que la Lune tourne à vitesse angulaire constante autour de la Terre avec une période de 29,53 jours (par rapport à l'axe Terre Soleil qui sert ici de référence pour les phases de la Lune), l'âge de la Lune est alors de : $29,53 \text{ j} \times 52^\circ / 360^\circ$ soit environ 4,3 jours.

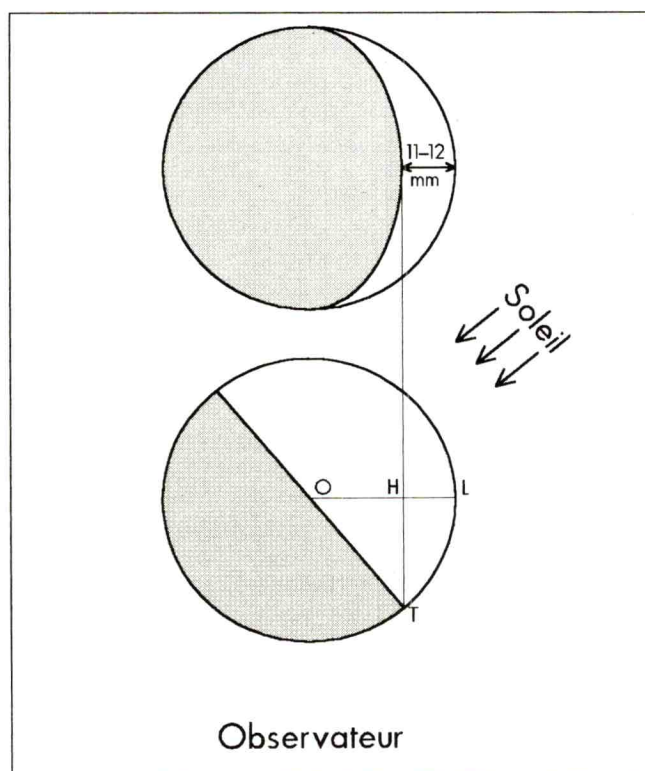
L'aire éclairée se calcule simplement puisque l'on passe de l'aire du demi cercle de droite à l'aire de la demi ellipse en multipliant par $18 / 30$. Le pourcentage de la partie éclairée est donc de : $100\% - (50\% + 0,6 \times 50\%) = 20\%$.

Vérification

Cette photo a été prise le 12 décembre 1999 à 18 h 30 TU, peu avant l'occultation de Mars par la Lune. On peut d'ailleurs apercevoir Mars à gauche du croissant sur la photo originale.

Pour le pourcentage du disque éclairé, le résultat de 20% est tout à fait correct. Mais nous ne recevons pas 20% de l'intensité lumineuse de la Pleine Lune mais seulement 2% ! En effet le km² de croissant nous apparaît beaucoup moins lumineux que le km² de Pleine Lune car la lumière est rasante.

Pour l'âge de la Lune, c'est moins bon. La Nouvelle



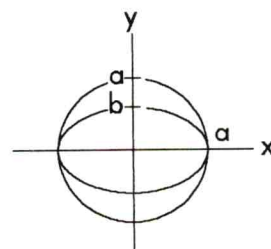
Lune avait eu lieu, d'après les éphémérides, le 7 à 22 h 30, ce qui donne une Lune de 4 j 20 h (4,83 j) pour la photo au lieu des 4,3 trouvés, soit une erreur de plus de 10%.

Pourquoi cette différence ? Parce que la Lune ne tourne pas à vitesse régulière. Du 7, jour de la Nouvelle Lune, au 12, jour de la photo, la Lune était située à une distance de la Terre comprise entre 402 000 et 406 600 km, supérieure d'environ 5% à la moyenne, l'apogée ayant eu lieu le 8.

Or, la deuxième loi de Kepler nous dit que les aires balayées par le "rayon vecteur" pendant des temps égaux sont égales. Si la Lune est plus éloignée de la Terre, sa vitesse sera plus faible et il lui faudra plus de temps que prévu pour parcourir ces 52°. Mais cette loi de Kepler n'explique que la moitié de l'erreur. En réalité, le mouvement de la Lune, attirée par deux corps la Terre et le Soleil, n'est pas képlérien. Il est extrêmement complexe et la dernière théorie (ELP 2000/82 du Bureau des Longitudes) utilise 37 000 termes !

Il est donc normal que la forme de la Lune ne donne qu'un âge très approximatif.

Note : on peut expliquer ce calcul en rappelant que, dans un repère orthonormé, on passe d'un cercle de rayon a à une ellipse de grand axe a et de petit axe b (figure ci-contre) en conservant les abscisses et en multipliant les ordonnées par b/a (affinité orthogonale de base l'axe des abscisses et de rapport b/a). L'aire de l'ellipse est alors égale au produit de l'aire du cercle par b/a . Dans notre exemple $a = 30 \text{ mm}$ et $b = 18 \text{ mm}$





HISTOIRE SOLAIRE ET CLIMATIQUE LEÇONS SUR LA PHYSIQUE RYTHMES DU TEMPS

Histoire solaire et climatique

Elisabeth Nesme-Ribes et Gérard Thuillier
collection "Regards sur la science",
éd Belin, Paris, Janvier 2000 ;
240 p. ; 130 F.

Vous allez enseigner de la géophysique ? Vous êtes enseignant en, ou curieux de sciences ? Vous vous sentez citoyens de la planète ? Alors, disons d'emblée que, même si le préfacier n'était pas Jean-Claude Pecker, un des président d'honneur de notre CLEA, je placerais cet ouvrage parmi vos incontournables lectures de l'an 2000.

Les auteurs, astrophysicienne et géophysicien du CNRS, racontent les premières mesures effectuées au XVII^e siècle qui ont conduit à prendre en compte le rôle particulier du Soleil dans la climatologie ; donnent ensuite des notions plus précises sur la physique solaire et sur les climats, posent enfin pour le siècle imminent la question vive du réchauffement : effet de serre et / ou activité solaire croissante.

Un survol rapide de la riche matière des six chapitres devrait aiguïser votre appétit :

1. Les débuts de l'astronomie moderne.

On y traite des connaissances à l'aube du XVII^e siècle, des taches solaires et de l'astronomie chinoise, de la lunette de Galilée, de l'Académie Royale des Sciences et de l'Observatoire de Paris.

2. L'école française d'astronomie.

Objectifs scientifiques (cartographie ; rayon et forme de la Terre ; longitudes ; mesure du temps). Développements instrumentaux. Jean Picard et l'astronomie de position. Uraniborg et Roemer. Mesure du diamètre solaire, micromètre d'Auzout.

3. Le Soleil.

Une étoile (énergie, structure). Constitution physique (taches, spectre, tempéra-

tures). Rotation (différentielle). Variabilité (cycle de 11 ans, Schwabe ; de 90 ans, Gleissberg ; de 200 ans, Suess). Siège de la variabilité (champ magnétique). Énergie émise (lumière, particules). Le diamètre comme indicateur d'activité.

4. chapitre essentiel au titre phare : la variabilité de la constante solaire.

Magnétisme et Thermique (taches). Observations du XVII^e (nombre de taches, vitesse de rotation, aurores polaire, diamètre solaire). Les cycles : une dizaine de périodicités de 27 jours à 300 millions d'années sont rencontrées et discutées (intrinsèques ou couplage gravitationnel (avec le Système solaire et avec la Galaxie)) ainsi que le long terme, apériodique.

5. Le climat de la Terre.

Les climats passés (glaciers, coraux, dendro- et palyno-climatologie, calottes polaires, sédimentologie isotopique au autre). Les variations (grandes glaciations : précambrien, permien, quaternaire ; petite ère glaciaire : sous Louis XIV ; ères tropicales : pas de glace polaire au crétacé). Les facteurs : Soleil, effet de serre, nature et origine des gaz, cycle biogéochimique, aérosols, paramètres orbitaux, circulations fluides (salinité, montagnes, plaques) et enfin nature des surfaces. Les périodicités. Les rétroactions. Les corrélations avec le Soleil, très avérées pour la période de 11 ans. Les modèles climatiques.

6. Les climats de demain.

Chaos à court terme ? Déterminisme à plus long terme : certitude des prochaines glaciations. Conséquences humaines d'une élévation du niveau des océans (65 m si fonte calotte antarctique). Discussion des causes solaires ou anthropiques ; validité des modèles. Et enfin le dernier alinéa dont on n'a pas fini de parler : que faire ?

Sachez que, malgré la sécheresse de cet inventaire, cet ouvrage se lit très facilement. Les idées clés se retrouvent à la tra-

ce d'un chapitre à l'autre. Autres atouts pédagogiques : j'ai compté environ 15 illustrations, 10 schémas, 10 tableaux et pas moins de 45 graphiques temporels, un glossaire de 8 pages et 72 entrées; une biblio de 24 articles (Pour la Science, La Recherche), de 28 livres généraux et de 8 pages de références d'articles scientifiques de journaux internationaux, classés par chapitres et enfin un index de 3 pages.

Après avoir refermé cet ouvrage m'est revenu : "Le soleil d'Austerlitz et celui de Waterloo sont le même" (Marcel Mariën, surréaliste belge). Oui, car environ 11 ans séparent le 2 décembre 1805 du 18 juin 1815. Mais c'étaient les cycles de Schwabe n° 5 et 6, avec une quarantaine de taches solaires par an alors que pour les cycles n° 19 à 22 que j'ai vécus pendant la seconde moitié du XX^e s, la moyenne s'établit à plus du triple : 150 taches par an.

Dites-vous plutôt comme l'éphésien Héraclite que "le Soleil est nouveau tous les jours" et hâtez-vous de lire "Histoire solaire et climatique".

Michel Bobin.

Leçons sur la physique

Richard Feynman, éd. Odile Jacob 2000, 348 p., 180 F.

"Génial et grotesque" disait de Feynman son plus proche collaborateur Freeman Dyson. Professeur exceptionnel qui savait captiver ses auditoires, marquant ses exposés de traits d'esprit qui retenaient l'attention, Feynman privilégia l'exposé oral à la rédaction d'un cours. L'ensemble de ses conférences représente cependant un véritable traité à la taille du fameux cours de Berkeley, un mémorable tableau de la physique du XX^e siècle.

La présente édition des Leçons sur la physique est un extrait de l'ensemble de ces conférences. Douze chapitres, les six premiers sur les concepts fondamentaux : structure atomique de la matière, relations de la physique avec d'autres disciplines, principes de conservation, gravitation universelle et premiers aperçus sur le comportement quantique. Suivent les chapitres les plus remarquables sur la relativité et la physique quantique en y intercalant le chapitre intitulé "Vecteurs", d'un tout autre ton, sur lequel je me permettrai des remarques impertinentes.

Le principe de cette édition est de fournir à un large public cultivé mais non spécialisé une compréhension véritable des concepts de la physique contemporaine. Ces extraits n'ont donc pas été écrits dans un but de vulgarisation, ce sont plutôt des remarques introductives destinées à présenter ce qui devrait être plus longuement exposé pour les lecteurs du texte intégral des conférences et les étudiants de niveau universitaire.

Dans le chapitre 3, "la physique par rapport aux autres sciences", Feynman explique pourquoi il se limite à chimie, biologie, astronomie, géologie et psychologie. L'analyse des rapports de la physique avec les sciences de l'ingénieur, l'industrie, la société et la guerre aurait mérité le dé-

veloppement de tout un volume. Quant aux mathématiques, il esquive la question de ses rapports pourtant si étroits avec la physique en affirmant : "*la mathématique à notre point de vue n'est pas une science, en ce sens que ce n'est pas une science naturelle. La vérification de sa validité ne se fait pas par l'expérience*". Autrement dit, pour Feynman, la physique est au centre de ce qu'on appelait au temps des Lumières, la philosophie naturelle, dont Newton précisait "les principes mathématiques".

Ne discutons pas ici la conception que se fait Feynman des mathématiques. Cela ne l'empêchait pas d'y recourir avec efficacité quand il en avait besoin dans ses recherches. Mais dans le cas présent, dans cet ouvrage pour grand public, quand il croit utile de rappeler ce qu'il entend par vecteur (chap. 7), son exposé me fait penser aux bricolages que les maîtres de ma jeunesse devaient imaginer sous prétexte qu'à leur avis les potaches n'étaient pas dignes de "sucer dès l'enfance le lait des espaces vectoriels", comme devait le regretter André Lichnérowicz, vingt ans plus tard.

L'essentiel n'est évidemment pas là. Le lecteur doit se familiariser avec le vocabulaire des physiciens. Exemple, dans le chapitre 8, "symétrie dans les lois physiques", vous trouverez p. 189, le tableau des opérations de symétrie qui commence par translations et rotations, pour se poursuivre avec réflexion dans l'espace, renversement du temps et phase en mécanique quantique. Alors vous pouvez entrer dans le vif du sujet, l'introduction de la théorie de la relativité et des concepts de la mécanique quantique. Mais là encore, pour justifier la transformation de Lorentz, je préfère celle que présentait notre ami Giédans son cours (Dynamique, éd. Baillière, 1965) ou celle que donnait Roger Gouguenheim dans "une étape de la physique : la relativité restreinte" (fascicule 7 pour la formation des maîtres en astronomie édité par notre CLEA).

Feynman termine son livre avec des remarques sur la théorie de la gravitation d'Einstein (Chap. 12 : espace courbe). Citons sa belle conclusion relativiste : "*Chaque fois que les prédictions d'Einstein se sont trouvées différentes des idées de la mécanique newtonienne, la nature a choisi Einstein*". La Nature, avec sa majuscule, a encore beaucoup à nous surprendre et à nous apprendre pourvu que l'espèce du genre Feynman ne tombe pas en voie de disparition.

Gilbert Walusinski.

Rythmes du temps

Astronomie et calendriers

Emile Biémont,

éd. De Boeck, 393 p., 360 F.

Voilà un très beau livre qui a pour objectif de replacer la mesure et le découpage du temps dans un contexte historique et astronomique.

C'est un ouvrage clair, précis, bien documenté et approfondi qui traite les problèmes du temps et des calendriers en

les reliant au vécu de l'humanité.

Préfacé par J. C. Pecker, ce livre est agrémenté par une mise en page intelligente et une très belle iconographie.

L'auteur, Emile Biémont est physicien atomiste et astro-physicien et enseigne la spectroscopie et l'astrophysique aux universités de Mons-Hainaut et de Liège.

Ce vaste sujet n'est pas nouveau et Emile Biémont se réfère abondamment à ceux qui l'ont précédé dans cette étude. Il cite en particulier Paul Couderc (dont le Que-sais-je ? sur le calendrier reste toujours une base de travail) :

"Le calendrier a le charme des vieilles choses ; il est imprégné du parfum d'une véritable astronomie qui a disparu de nos livres d'école mais qui survit encore dans notre langage et dans nos coutumes sociales, par la force des habitudes (...). Notre système de mesure du temps nous paraît tolérable parce que nous y sommes habitués depuis l'enfance. Comme les vieux meubles de style, comme les reliques de famille auxquelles on tient, le calendrier a donc ses incommodités et ses défauts".

L'intérêt de l'ouvrage est d'aborder tous les aspects de cette problématique du temps ce qui permet au lecteur de se forger une vue d'ensemble. L'auteur traite chaque sujet en permettant au néophyte d'acquérir une bonne base de connaissances et propose une bibliographie permettant un approfondissement dudit sujet.

L'originalité de la démarche est qu'elle est à la fois synthétique et historique ce qui fait de ce livre riche un ouvrage de référence.

Il a sa place dans un CDI de lycée et pourra être utilisé pour des TPE en première S sur le thème "temps, rythmes et périodes"

L'ensemble est structuré en 4 parties :

I - "Des heures et des jours" (9 chapitres).

Après un rappel sur les mouvements de la Terre, (destiné aux lecteurs non familiers de ces notions), Emile Biémont donne les caractéristique d'une échelle de temps, précise les apports de l'astronomie dans la mesure du temps jusqu'à la mise en place de l'échelle de temps atomique. Il s'intéresse ensuite au découpage du temps (jour, semaine, heure) qui rythme l'activité humaine. Un chapitre est consacré aux ères anciennes et modernes et un autre explique l'importance et l'évolution des almanachs et des calendriers apparus au XIV^e siècle et toujours en vogue à notre époque.

L'auteur nous montre par des exemples tirés de différentes civilisations anciennes comment le début de l'année correspondait autrefois à un moment privilégié de l'année astronomique. Il souligne aussi l'importance des jours de fête dans quelques calendriers actuels. Un panorama des instruments de la mesure du temps depuis le gnomon jusqu'aux horloges atomiques modernes montre le rôle que chacun a pu jouer ou joue encore. L'astrologie constituant une réalité historique et sociologique qu'il est impossible d'ignorer, l'auteur lui consacre le chapitre 9.

II - "La genèse du calendrier" (7 chapitres).

On peut regretter qu'il manque en introduction à cette partie une classification et une description des différents types de calendrier (calendrier lunaire, lunisolaire, solaire,

chronologique). Ce travail est d'ailleurs fort bien fait dans le livre de Jean-Paul Parisot et Françoise Suagher "calendriers et astronomie" publié chez Masson.

Cela dit, pour chacun des calendriers étudiés E. Biémont dresse un tableau du contexte politique, religieux ou mythologique, présente les mathématiques et l'astronomie pour les plus anciens. On trouve donc, en plus des caractéristiques de chaque calendrier étudié pourquoi et comment il a ou non évolué et cette histoire est passionnante.

Les observations des astronomes depuis le règne de Nabonassar (VIII^e s avant notre ère) ont permis la détermination de cycles lunisolaires à l'origine du calendrier babylonien. Lunaire au départ, ce calendrier fut accordé avec l'année tropique dès le V^e siècle avant notre ère par l'introduction de mois intercalaires suivant un cycle de 19 ans.

L'auteur nous explique pourquoi le calendrier vague égyptien (12 mois de 30 jours plus 5 jours "épagomènes" à la fin de l'année) a survécu malgré ses défauts pendant plusieurs millénaires.

Le calendrier hébreu, lunisolaire, est particulièrement complexe à cause des contraintes religieuses et nous apprenons tout sur les années communes et embolistiques, le caractère de l'année ou du mois, les conversions de l'année, la chronologie et les fêtes juives.

Les grecs ont conçu de nombreux calendriers dont le plus célèbre est celui d'Athènes, calendrier lunisolaire avec des intercalations de mois approximatives au départ et de plus en plus précises : cycle de 8 ans, de Meton (19 ans), de Callipe (76 ans) et enfin d'Hipparque (304 ans).

E. Biémont nous détaille les péripéties qui ont permis d'accéder au calendrier (solaire) Julien, grâce à la forte personnalité de Jules César bousculant les traditions religieuses avec l'aide de l'astronome d'Alexandrie Sosigène.

La réforme de Grégoire XIII et sa mise en oeuvre sont bien sûr expliquées. Le dernier chapitre est consacré au lien entre liturgie et calendrier, au calcul de la date de Pâques et au système des éphémérides.

III - Les calendriers du bout du monde (6 chapitres).

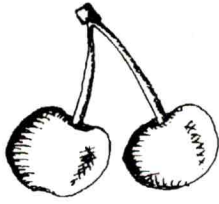
Nous avons ici un aperçu de la diversité des calendriers utilisés et de leur importance tant dans la vie religieuse que dans la vie pratique.

L'auteur décrit le calendrier traditionnel (lunisolaire) chinois, le calendrier musulman, seul calendrier purement lunaire encore en application. Nous apprenons que les peuples méso-américains ont utilisé simultanément un calendrier religieux de 260 jours et un calendrier agricole de 365 jours. Les japonais n'ont adopté la réforme grégorienne qu'en 1873, après avoir utilisé différents calendriers luni-solaires souvent d'influence chinoise. Les cycles et les ères de l'astronomie hindoue et les rythmes du temps à Bali complètent cette étude.

IV - Vers une réforme

Pour terminer, Emile Biémont nous parle du calendrier républicain et de quelques tentatives avortées de réforme du calendrier grégorien qui semble, avec le temps tendre à l'universalité.

Martine Bobin ■



Jean Heidmann, notre ami

Lucette Bottinelli
et Lucienne Gouguenheim

Jean Heidmann est décédé brutalement cet été, à l'âge de 77 ans. Lucette Bottinelli et Lucienne Gouguenheim, qui ont été ses élèves, ses collaboratrices et ses amies, nous disent la jeunesse d'esprit que ce grand scientifique avait su conserver.

Les membres du CLEA connaissent bien Jean Heidmann : membre de notre association depuis le début, il nous a fait l'amitié d'une conférence qui reçut un grand succès, lors de l'Assemblée générale de 1994, ainsi que de plusieurs articles¹.

C'était un chercheur dans l'âme, dont les deux seules motivations étaient la soif de connaître et celle de faire partager ses connaissances. Et il a excellé dans les deux registres. Aujourd'hui, le grand public le connaît surtout pour son engagement dans le projet SETI ; mais si l'on considère les étapes successives de sa carrière, on est frappé par l'énergie extrême qu'il a consacrée à chacun des domaines successifs dans lesquels il s'est engagé, et par l'extraordinaire curiosité d'esprit qui l'a conduit à se tourner à plusieurs reprises vers des domaines nouveaux. Et cela, autant dans son effort de recherche que dans celui de présenter aux non spécialistes des domaines nouveaux de la connaissance scientifique. Il a été un véritable précurseur dans la diffusion des connaissances dans le domaine de la cosmologie² où il a associé l'exigence de rigueur et la recherche de présentations simples.

Le chercheur opiniâtre.

Jean aimait à raconter sa courte expérience dans l'industrie, qui a duré exactement cinq jours, à sa sortie de l'Ecole centrale ! "J'ai tout de suite senti que ma place n'était pas là". Sa place, il l'a rapidement trouvée, d'abord au laboratoire de physique nucléaire de Louis Leprince-

Ringuet, à l'Ecole Polytechnique, puis à l'Observatoire de Paris où l'avait attiré Jean-François Denisse, qui se lançait dans la construction du grand radiotélescope de Nançay. C'est là que nous l'avons connu, au début des années 1960 : il dirigeait l'équipe de radioastronomie qui allait se consacrer à l'étude de l'évolution des galaxies à partir de leur contenu gazeux révélé par l'émission de l'hydrogène atomique à 21 cm de longueur d'onde. Notre collaboration s'est étendue sur une vingtaine d'années au cours desquelles nous avons été témoins de ses intuitions et de l'obstination qu'il savait manifester quand un sujet lui tenait à cœur.

Parmi les idées qu'il a contribué à lancer, on retiendra particulièrement la quête de critères de distance des galaxies et les processus de formation stellaires violents dans les régions centrales des galaxies.

Dans les deux cas, il est parti sur une intuition, et s'est engagé dans une recherche que les moyens d'observation n'ont pu totalement valider que plus tard. En cela, il ressemblait à Gérard de Vaucouleurs, qui se démarquait aussi des programmes de recherche découlant trop uniquement de l'instrumentation disponible. Ils ont d'ailleurs publié ensemble, avec sa première épouse, Nicole, une série d'articles qui ont fait date, sur les effets produits sur les dimensions et la luminosité observées des galaxies, par suite de l'extinction de la lumière due au milieu interstellaire de ces galaxies ; ces articles ont fait partie, à l'époque, de ceux du laboratoire les plus cités.

De la relation "diamètre-luminosité" dans une galaxie à la relation "Tully-Fisher".

La plupart des grandeurs qui caractérisent une galaxie dépendent d'un paramètre observé et de sa distance, cette dernière intervenant de façon différente selon le paramètre. La luminosité se déduit de l'éclat apparent multiplié par le carré de la distance, alors que le diamètre linéaire se déduit du diamètre apparent multiplié par la distance. On conçoit donc qu'une relation entre le diamètre d'une galaxie et sa luminosité, si elle existe, puisse être un critère de distance. Jean était parti de l'idée que le pouvoir émissif moyen d'une galaxie, c'est-à-dire sa luminosité divisée par son volume, devait être à peu près constant dans toute galaxie. Il eut ensuite l'idée d'une relation entre la masse totale et la luminosité, qu'il rechercha sous différentes formes, impliquant la raie 21 cm de l'hydrogène, et qu'il appliqua dès 1971 à la galaxie "cachée" derrière la Voie lactée, Maffei 2. Cette relation devait être "découverte" sous sa formulation définitive par Brent Tully et Rick Fisher en 1977.

Le modèle du "bocal d'olives".

En général, les galaxies irrégulières sont des objets modestes, de faible luminosité et de faible masse ; Jean eut l'attention attirée par des galaxies découvertes par l'astronome arménien Markarian, qui sont caractérisées par un excès de rayonnement ultraviolet, indice d'un taux de formation stellaire élevé ; avec l'astronome italienne Caterina Casini, il découvrit ce qu'il appela en 1974 des "galaxies à grumeaux", caractérisées par la présence d'une dizaine de gigantesques régions HII (nébuleuses gazeuses interstellaires où le gaz est ionisé par la lumière ultraviolette des étoiles jeunes), les "grumeaux". Il les étudia sous tous leurs aspects, avec de multiples instruments, dont le télescope de 6 mètres du Caucase qu'il fut le premier observateur étranger à utiliser. Sa cage focale, racontait-il, était aussi grande que le télescope de 2 m de l'Observatoire de Haute Provence, où il avait effectué les premières observations de ces galaxies.

Pour illustrer les conditions extraordinaires régnant en leur sein, Jean fit appel au bocal d'olives. Si l'on ramène la région HII la plus gigantesque connue, la nébuleuse de la Tarentule dans le Grand Nuage de Magellan, à la dimension d'une olive, alors chacun des grumeaux de ces galaxies serait un bocal contenant une centaine d'olives.

Jean avait énormément d'esprit ; en 1987 il réalisa 22 tirages numérotés d'une communication qu'il venait de faire sur le sujet à un colloque de l'UAI, et à la fin de laquelle il remerciait tous ses collaborateurs ; il avait collé sur chaque couverture une photographie, réalisée par lui, d'un bocal d'olives posé sur une photo de la nébuleuse de la Tarentule. Nous avons soigneusement conservé chacune notre exemplaire !

Lancé en 1985, le satellite infra-rouge IRAS devait découvrir tout un monde des galaxies à flambée de formation d'étoiles. Mais Jean s'était déjà tourné vers un autre domaine de recherche.

Nous ne sommes pas seuls dans l'Univers.

Dès 1980, avec le projet d'installation à Nançay d'un récepteur très performant, il entrevit la possibilité de recherche de signaux artificiels. A partir de 1982, il s'est pro-



gressivement et totalement investi dans ce champ nouveau. Avec à la fois la rigueur et l'enthousiasme qui le caractérisaient. Il explique très bien lui-même, dans son dernier ouvrage³ le pourquoi et le comment de cet engagement. Pas question de le faire dissenter sur les ovnis !

Il avait proposé une stratégie d'observation originale, fondée sur les pulsars, dont la fréquence rotationnelle serait convertie en fréquence radio.

Tous ceux qui l'ont connu, et qui savaient son formidable intérêt pour la première découverte d'un message intelligent extraterrestre, relisent avec émotion sa réponse sur le temps que prendra la recherche de ces messages : "je préférerais naturellement être présent le jour où ces jeunes gens capteront un message. Mais il va sans dire que cette recherche est longue et qu'elle concerne plusieurs générations d'astronomes. Il faut s'y faire !"

L'astronome-amateur.

Jean était aussi un fabuleux bricoleur. Il se gardait de trop s'en vanter auprès de ses collègues, parce qu'il voulait préserver son activité de recherche de toute "dérive" instrumentale. Ceux qui ont eu comme nous la chance de séjourner dans sa maison de campagne connaissent son petit observatoire personnel. Avoir utilisé les instruments professionnels les plus prestigieux ne retirait rien au plaisir qu'il éprouvait au travail d'observation d'amateur. Il faut relire les Cahiers Clairaut de l'hiver 1986, période d'une opposition favorable de Mars, où Jean expose en détails ses techniques d'observation ; l'article est illustré d'une vingtaine de ses dessins montrant l'effet du seeing, l'évolution de la calotte polaire sud et une tempête de sable.

A Marie-Ange, son épouse, à ses enfants, dont nous partageons la peine, nous voulons dire que Jean était un être exceptionnel, et que l'avoir rencontré a été un privilège.

Notes :

1 - CC n° 35, 46, 68 et 69.

2 - "Introduction à la cosmologie" (PUF 1973).

"Au delà de notre Voie lactée" (Hachette 1979).

"La cosmologie moderne" avec H. Andrillat, B. Hauck, A. Maeder et J. Merleau-Ponty (Masson 1984).

"L'odyssée cosmique" (Denoël 1986).

3 - "Sommes-nous seuls dans l'Univers ?" avec A. Vidal-Madjar, N. Prantzos et H. Reeves (Fayard 2000). ■

Documents pour les fiches CLEA BELIN

DCB

20 exemplaires
(70 F-65 F)

Transparents animés pour rétroprojecteur

(55 F-50 F)

T 1 Le TransSoLuTe
(phases de la lune et éclipses)

T 2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

FCR

Six feuilles de filtres colorés
et une feuille de réseaux
(75 F-65 F)

- D 1 Phénomènes lumineux
- D 2 Les phases de la Lune
- D 3 Les astres se lèvent aussi
- D 4 Initiation aux constellations
- D 5 Rétrogradation de Mars
- D 6 Une expérience pour illustrer les saisons
(série de 8 vues 35 F-30 F)
- D 7 Taches solaires et rotation du Soleil
- D 8 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
(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 2000

Cotisation simple au CLEA pour 2000	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 89 à 92	140 F

Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT ET cotisation au CLEA pour 2000	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 des années antérieures :

90 F par an jusqu'en 1997
110 F par an à partir de 1998

Adresser adhésions,
abonnements ou commandes à

Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA

Catherine Vignon
21 rue d'Anjou
92 600 Asnières

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'œil nu (75 F)

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

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

dépot légal : 1^{er} trimestre 1979
numéro d'inscription CPPAP : 61660
Prix au numéro : 45 F