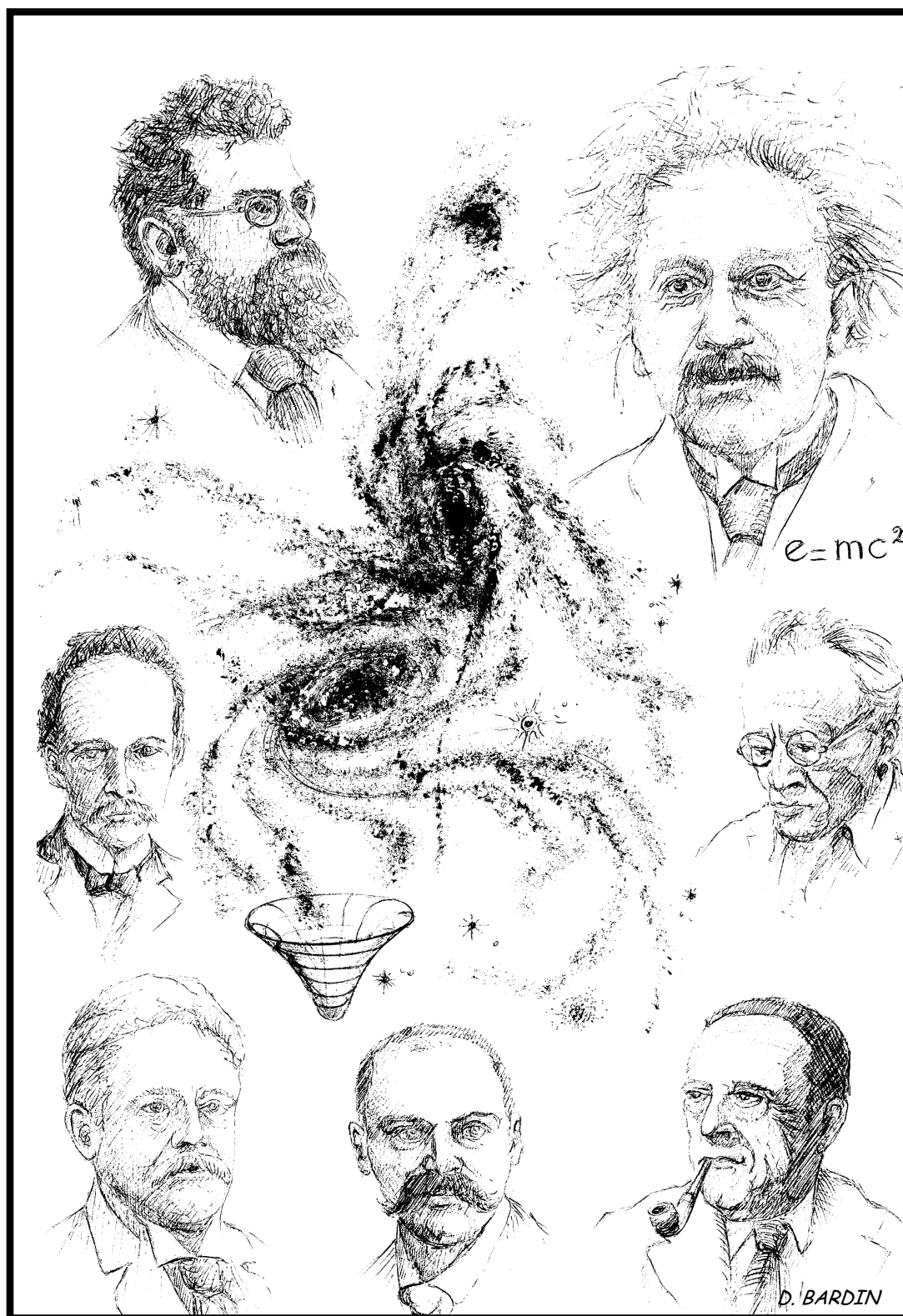


# Les Cahiers Clairaut



numéro 111 - AUTOMNE 2005

# Comité de liaison enseignants astronomes

Le CLEA

Le **CLEA**, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée à but non lucratif (loi de 1901), fondée en 1977. 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.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (écoles d'été) et régionaux. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée et, de manière générale, à tous les formateurs. 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.). Le **CLEA** favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes, hors de toute contrainte hiérarchique.

L'organe de liaison du **CLEA**, les **CAHIERS CLAIRAUT**, est une revue trimestrielle. On y trouve des articles de fond (astrophysique, histoire, philosophie, enseignement...), des comptes rendus d'expériences pédagogiques, des notes critiques de livres récents, des innovations en matière d'activités pratiques.

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés. L'adresse est la suivante : C-L-E-A@yahooouououes.fr.



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA :

Laboratoire d'Astronomie, bât. 470

Université Paris Sud 91405 Orsay cedex

Tél./fax : 01 69 15 63 80

Adresse électronique :

CLEA : [clea.astro@astro.u-psud.fr](mailto:clea.astro@astro.u-psud.fr)

Secrétaire : [jean.a.ripert@wanadoo.fr](mailto:jean.a.ripert@wanadoo.fr)

Le CLEA est présent sur internet à l'adresse :

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

## Bureau du CLEA pour 2004

**Présidents d'honneurs** : Lucienne Gougouenheim,

Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Gilbert Walusinski

**Président** : Georges Paturel

**Trésorière** : Béatrice Sandré

**Trésorier Adjoint** : Jacky Dupré

**Rédacteur des Cahiers** : Georges Paturel

**Secrétaire** : Jean Ripert

**Secrétaire Adjointe** : Cécile Ferrari

**Responsable du site web** : Francis Berthomieu

## Rédacteurs Adjoints des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Michel Bobin

Pierre Causeret, Frédéric Dahringer,

Charles-Henri Eyraud, Marie-Agnès Lahellec,

Christian Larcher, Chantal Petit, Jean Ripert,

Jean-Noël Terry, Daniel Toussaint

## Associés de rédaction

Lucette Bottinelli, Jacky Dupré, Jean-Luc Fouquet,

Lucienne Gougouenheim, Colette Le Lay, Lucette Mayer

Philippe Merlin, Josée Sert

## A PROPOS DE LA COUVERTURE

Deux galaxies entremêlées, en collision prochaine, sont distordues ; de plus, un "puit de gravitation", image relativiste bien connue, détourne quelques bras des spirales vers le bas. L'année 2005 célébrant l'essor de la physique en hommage à la publication du premier texte sur la Relativité en 1905, quelques portraits entourent le centre de l'image. Comme il était impossible de faire figurer "tous" les physiciens qui ont œuvré pour l'astronomie, il a fallu faire des choix. Qu'on veuille bien pardonner au dessinateur l'injustice de ces choix.

En partant d'Albert Einstein et en tournant dans le sens positif (à l'inverse des aiguilles des horloges), on trouve : Ludwig Boltzmann, Max Planck, Wilhelm Wien, Karl Schwarzschild, Edwin Powell Hubble, Erwin Schrödinger.

Daniel Bardin

Dessin de couverture : Daniel Bardin

# Les Cahiers Clairaut

Automne 2005 n° 111

## EDITORIAL

Pour ce numéro de la rentrée 2005-2006, nous avons mis l'accent sur la rubrique "Avec nos élèves". Nous vous présentons plusieurs problèmes ou travaux pratiques. Vous découvrirez comment, partant de textes de Jules Verne ou de Daniel Boorstin, on peut faire de la science sérieuse et amusante.

Nous poursuivons le dossier : "Année Mondiale de la Physique" mais sous une forme moins technique, en découvrant les "idées reçues" sur la vie d'Albert Einstein.

Le cours élémentaire, quoique un peu plus difficile qu'à l'ordinaire, est important, car il va ouvrir la voie de l'astrophysique proprement dite, avec l'interprétation des spectres.

Rappelons aussi les différents projets d'observation collective pour la rentrée : l'éclipse de Soleil le 3 octobre, la rétrogradation de Mars à partir de septembre et l'inventaire des bornes méridiennes

Bonne lecture !

## La Rédaction

patu@obs.univ-lyon1.fr

## Cours

Cours élémentaire d'astrophysique  
V II- Les spectres enfin compris

G. Paturel p. 2

## Histoire

Autour du mot "Mars"-II  
J.-L. Dewez, O. Dargent

p.7

## Documents anciens

Gravitations imaginaires  
P. Lerich

p.9

## Avec nos Elèves

La hauteur des montagnes  
sur la Lune

G. Paturel p.12

## Histoire

Lecture de Kepler - III

K. Mizar p.15

## Réalisation

Comment mesurer la  
déclinaison du Soleil

J. Ripert p.18

## Avec nos élèves

Un naufrage pour un  
problème de longitude

M.-A. Lahellec p.21

## Annonce

Ils veulent toucher les  
étoiles, faisons-leur la  
courte échelle

Y. Bénétreau-Dupin p.23

## Avec nos Elèves

Température des  
atmosphères stellaires

S. Latouche p.24

## Avec nos Elèves

Quelques activités autour  
de Jules Verne

C. Brigand et C. Lelay  
p.26

## Dossier AMP 2005

La démonstration de la  
célèbre formule  $E=mc^2$

G. Paturel p. 29

Einstein au-delà du mythe

J.-N. Terry p. 30

## RUBRIQUES FIXES

p.35

- Remue-méninges
- Lecture pour la Marquise
- Les potins de la Voie Lactée
- La vie associative
- Courrier des lecteurs

## Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique : VII- Les spectres enfin compris

Georges Paturol, Observatoire de Lyon

**Résumé:** *Comment décrypter les spectres et leurs innombrables raies, véritables "Pierre de Rosette" de la physique ? Analysées de manière empirique, les raies spectrales étaient connues, mais pas comprises. L'étude du corps noir par Planck a montré que les échanges énergétiques ne se faisaient que par quantités finies, les "quanta". L'application par Bohr de ce concept a donné naissance à la mécanique quantique. Il a été possible ainsi de comprendre l'origine des raies spectrales. Les applications astrophysiques qui en découlèrent furent d'une portée inimaginable. C'est ce que nous allons découvrir dans les cours à venir.*

### Les excuses de l'auteur

Je reprendrai les termes même de Daniel Barbier dans son ouvrage fameux sur les atmosphères stellaires (Flammarion) : "Un éloge, parfois mérité, qui est souvent fait aux ouvrages de vulgarisation scientifique est qu'ils se lisent comme un roman d'aventures. Bien certainement cet aperçu sur les ... [spectres] stellaires en est tout à fait indigne. L'auteur s'en excuse et il espère que l'aveu qu'il en fait lui vaudra quelque indulgence".

Cette mise en garde me convient bien car je dois avouer que le cours présent est assez difficile pour un cours élémentaire. J'espère qu'il aura au moins le mérite de vous faire découvrir le bonheur de comprendre la nature, quantitativement.

### Introduction

Les physiciens et les astronomes avaient noté que le spectre solaire, obtenu en décomposant la lumière du Soleil avec un prisme, était barré d'une multitude de raies sombres, les raies spectrales. Ils les avaient repérées soigneusement. Dans le Soleil, ces raies sont innombrables. Leurs positions ne dépendent nullement de la façon de réaliser le spectre : les spectres étant gradués en longueur d'onde, les raies spectrales se présentent toujours de la même façon. Dit autrement, on retrouve toujours les raies solaires aux mêmes longueurs d'ondes.

Quand on fait le spectre d'une étoile, on retrouve certaines raies observées dans le spectre solaire, mais on ne les retrouve pas forcément toutes. A l'inverse, il est possible de trouver des raies nouvelles. Les physiciens avaient compris que ces raies étaient caractéristiques des corps émetteurs. Il était ainsi possible de prédire quels corps étaient présents dans telle ou telle étoile. Mais nombre de raies spectrales étaient non identifiées, car elles ne correspondaient à aucun corps étudié en laboratoire. Ce fut le cas d'un corps étrange, observé par Jansen et Lockyer dans le Soleil, et qu'on appela Hélium. Ce corps ne fut découvert sur Terre que plus tard.

Parfois les raies spectrales ne pouvaient pas être reconnues, simplement parce que les conditions physiques qui régnaient dans l'étoile étaient très différentes des conditions réalisables en laboratoire. Ainsi, le spectre, de ce qu'on appela un temps le "protohydrogène", pour les similitudes qu'il présentait avec le spectre de l'hydrogène, ne fut-il pas reconnu comme provenant de l'Hélium.

Enfin, il fallait comprendre pourquoi certaines raies spectrales apparaissaient sombres sur le fond lumineux et pourquoi, exceptionnellement, certaines raies spectrales apparaissaient en surbrillance sur le fond peu lumineux. Ultime complication, les raies pouvaient ne pas être exactement là où on les attendait, à cause de l'effet Doppler-Fizeau, phénomène déjà évoqué, et qui déplace les raies

spectrales du fait de la vitesse relative de l'observateur et de l'étoile.

Bref, la compréhension des raies spectrales apparaissait comme un véritable casse-tête, une "Pierre de Rosette" pour les "Champollion" de la physique.



Allez voir le Remue-Méninges pour en savoir plus sur les différents aspects des spectres.

S'attaquer à ce problème devait être totalement décourageant. Pourtant, il devait bien y avoir une logique sous cette complexité. La force de Niels Bohr fut de s'attaquer au spectre du corps le plus simple : l'hydrogène. Il réussit à retrouver la relation empirique rencontrée lors du cours précédent :

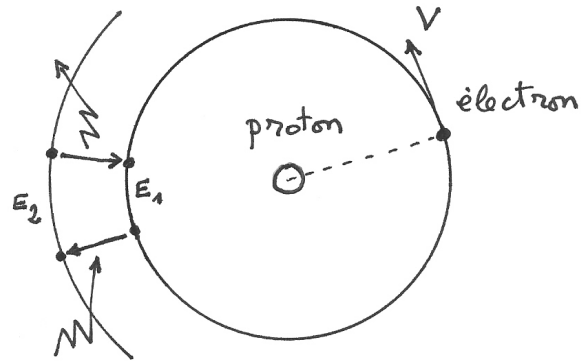
$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

Où  $n$  et  $p$  sont des nombres entiers (satisfaisants à la condition  $n < p$ ) et  $\lambda$  la longueur d'onde de la raie  $(n,p)$ . Quant à  $R$ , c'est une constante empiriquement mesurée par Rydberg comme valant  $R=0,0109678$  pour des longueurs d'onde mesurées en nanomètres (nm)<sup>1</sup>.

Le décor est planté. Nous allons refaire le calcul de Bohr. Je vous rassure, il n'y a que de l'arithmétique élémentaire, même si c'est un peu long. C'est ce que nous allons voir tout d'abord.

### Le rêve de Niels Bohr

Bohr raconta que la solution lui vint en rêvant. N'y voyons pas quelque révélation mystique. Quand un problème nous tarade, il nous hante toujours, même la nuit, jusqu'à ce que la solution nous apparaisse, presque miraculeusement. Bohr adopta, pour l'hydrogène, le modèle "planétaire" de Rutherford : un proton autour duquel tourne un électron, comparativement très léger (voir Figure ci-contre).



Bohr admet que l'électron ne peut occuper que certaines orbites particulières sur lesquelles il ne rayonne pas d'énergie. L'énergie de l'électron sur une de ces orbites est donc constante. Quand l'électron passe sur une autre orbite, l'énergie n'étant plus la même, il y a émission (ou absorption) de la différence d'énergie. Autrement dit, si un atome d'hydrogène absorbe de l'énergie, l'électron passe sur une orbite permise de plus grande énergie. Si en revanche l'électron va sur une orbite de moindre énergie, l'atome rend la différence d'énergie sous forme d'un rayonnement. Comment calculer ces orbites particulières permises? Comment s'exprime alors la variation d'énergie par passage d'une orbite à l'autre ? C'est ce que nous allons voir. Que ceux que les calculs rebutent passent à la section expliquant les mécanismes de l'émission et de l'absorption. L'essentiel de ce qu'il faut connaître pour comprendre y est dit.

Les forces d'attraction gravitationnelle entre les deux particules sont négligeables (on le vérifierait aisément). Seule la force électrique a une intensité importante :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2}$$

$e$  est la charge élémentaire de l'électron et du proton (mais de signe opposé pour les deux particules). La constante diélectrique vaut  $\epsilon_0 = 1/(36\pi) \cdot 10^{-9} \text{ C}^2\text{m}^{-2}\text{N}^{-1}$ .

Comme pour le cas gravitationnel, cette force va produire une force d'inertie opposée,  $m \cdot a$ , où  $a$  est l'accélération. Si vous regardez le cours III de mécanique (CC107) vous verrez que nous avons établi l'expression de l'accélération que prend un corps sous l'effet d'une force transversale, quand ce corps est animé d'une vitesse  $V$ . Le corps décrira

<sup>1</sup> Un milliardième de mètre, soit  $10^{-9}$  m.

une trajectoire circulaire de rayon  $r$ . L'expression de l'accélération est :

$$a = \frac{V^2}{r}$$

L'égalité de la force attractive et de la force d'inertie s'écrit :

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = m \frac{V^2}{r} \quad (1)$$

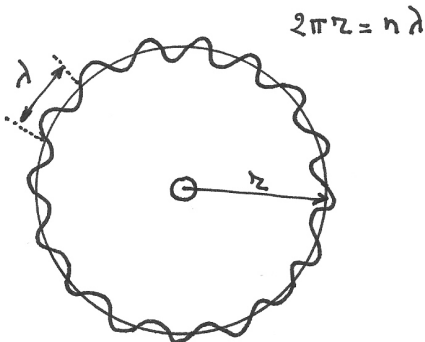
Jusqu'à présent il n'y a rien de nouveau. Mais Bohr va introduire maintenant l'hypothèse de Planck, du quantum d'action  $h$ . Il va écrire que le produit  $m.V.r$  ne peut prendre qu'un nombre entier ( $n$ ) de fois la valeur de  $h/2\pi$ . C'est-à-dire :

$$mVr = \frac{n.h}{2\pi} \quad (2)$$

Nous allons expliquer cette relation de manière plus concrète, en partant de la relation de Louis de Broglie, établie dans le Cahier précédent (CC110). La relation de Louis de Broglie donne la longueur d'onde associée à une masse  $m$  se déplaçant à la vitesse  $V$ . Rappelons cette relation :

$$\lambda = \frac{h}{mV}$$

La relation de quantification des orbites, signifie simplement que, dans une orbite de longueur  $2\pi r$ , il y a un nombre entier de longueur d'onde  $\lambda$ . L'onde associée apparaît alors comme une onde stationnaire le long de l'orbite de l'électron.



Cette condition s'écrit simplement (Figure ci-dessus) :

$$2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{mV}$$

Ce qui donne bien la relation adoptée par Bohr.

Des relations (1) et (2) on tire très facilement le rayon des orbites permises :

$$r = \frac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi m e^2} \quad (3)$$

Le premier rayon pour  $n=1$  est ce qu'on appelle le "rayon de Bohr". Il vaut 0,0529 nm.

Reste à calculer l'énergie de l'électron sur ces orbites permises. L'énergie totale est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle (électrique). L'énergie cinétique se déduit de la relation (1) comme étant :

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

L'énergie potentielle est l'énergie qui lie l'électron au proton (on dit d'ailleurs qu'il est dans un état lié). Son énergie est comptée négativement car il faut fournir de l'énergie à l'électron pour l'emmener à l'infini, où nous supposons son énergie potentielle nulle. Nous ne démontrerons pas la relation, mais les lois de l'électrostatique nous donnent cette énergie potentielle :

$$E_p = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

D'où l'énergie totale :

$$E_T = E_c + E_p = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

Si maintenant nous remplaçons  $r$  par une des valeurs permises (Relation 3), nous obtenons l'expression cherchée :

$$E(\text{niveau } n) = -\frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}$$

Nous commençons de voir apparaître le carré d'un entier, semblable à celui de la formule empirique. Encore un petit effort et nous serons au bout du calcul...

Il nous suffit d'écrire que la différence d'énergie entre un niveau ( $n$ ) et un niveau ( $p$ ) est rayonnée (ou absorbée) par quanta :  $\Delta E = h.\nu = hc/\lambda$ , selon les préceptes de Planck. Il vient alors :

$$\Delta E = -\frac{me^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right) = \frac{hc}{\lambda}$$

Expression de laquelle nous retrouvons la formule empirique de Balmer, vue en introduction. Après simplification, la constante de Rydberg  $R$  serait donc donnée par :

$$R = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c}$$

Imaginez la fébrilité de Bohr quand il a dû faire le calcul numérique pour voir si  $R$  avait bien la valeur trouvée expérimentalement. Nous allons faire le calcul à notre tour avec un peu la même fébrilité (je crains d'avoir fait une erreur de calcul).

En prenant les valeurs dans le système international d'unités nous avons :

$$m = 9,10956 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$\epsilon_0 = 1/36\pi \cdot 10^{-9} = 8,84194 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{N}^{-1}$$

$$h = 6,62620 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

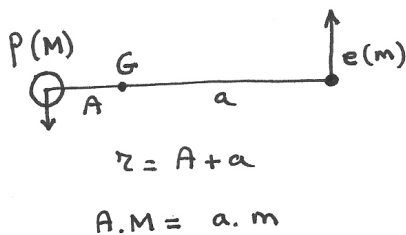
Le calcul n'est pas aussi simple qu'on pourrait le penser. En effet, si on entre dans sa calculette les valeurs et qu'on exécute le calcul comme il vient, on dépasse la capacité d'une machine ordinaire avec des puissances supérieures à 100. Il faut donc faire le calcul des chiffres significatifs seulement, puis calculer les puissances entières. Le résultat est alors :  $R = 11004362 \text{ m}^{-1}$ , les longueurs d'onde étant exprimées en mètre. Si nous les exprimons en nm, nous obtenons  $R = 0,0110043 \text{ nm}^{-1}$ , ce qui est, à peu de chose près, la valeur expérimentale.

On imagine sans peine la satisfaction énorme que Bohr a dû ressentir en trouvant cet accord numérique. Un coin du voile venait de se soulever.

### Les améliorations du modèle

Un premier raffinement consiste à considérer des trajectoires elliptiques plutôt que circulaires. Mais cela ne change pas les niveaux d'énergie.

Il est possible de raffiner le modèle de manière plus sensible. En effet, exactement comme pour les planètes, ce n'est pas réellement l'électron qui tourne autour du proton central, mais ce sont les deux particules qui tournent autour du centre de gravité commun (voir Figure ci-dessous).



La position de G est définie par  $A.M = a.m$ , où  $m$  et  $M$  sont les masses des deux particules.  $A$  et  $a$  sont leurs distances à G. On peut écrire la relation sous la forme :

$$\frac{A}{1/M} = \frac{a}{1/m} = \frac{A+a}{1/M + 1/m} = \frac{r}{1/\mu}$$

$\mu$  est ce qu'on appelle la masse réduite. On voit qu'en utilisant  $\mu$  à la place de  $m$ , on est ramené exactement au cas précédent. Mais  $\mu$  est un peu plus petit que  $m$ . puisqu'on a :

$$\mu = \frac{mM}{m+M}$$

Notre valeur de  $R$  sera réduite par cette correction.

Ce n'est pas tout. On peut faire une correction relativiste qui prendra en compte l'augmentation de la masse avec la vitesse. Ainsi, il sera possible de prévoir de nouvelles raies plus fines (c'est ce qu'on appelle précisément la structure fine). Pour aller encore au-delà, il faudra considérer le "spin". Qu'est-ce donc que ce spin ? L'image triviale que l'on en donne est celle de la rotation de la particule sur elle-même. Selon que le spin de l'électron est dans le même sens que celui du proton ou opposé, le niveau d'énergie est légèrement différent. Spontanément, le spin de l'électron peut basculer d'un état vers l'autre. Nous verrons que la petite émission qui en résulte produit le rayonnement de l'hydrogène neutre, rayonnement si important pour l'étude des galaxies lointaines. C'est une transition hyperfine.

### Le cas des hydrogéoïdes

Il est possible de considérer des atomes un peu plus compliqués que l'hydrogène, mais néanmoins très proches. En effet, si le quantum d'énergie absorbé par un atome est très élevé (c'est ce qui se passe avec des rayonnements énergétiques de courte longueur d'onde), l'électron sera purement et simplement arraché à l'atome. L'atome sera *ionisé*. L'électron sera libre. En perdant ainsi un ou plusieurs électrons, certains atomes peuvent devenir semblables à l'hydrogène. On appelle ces corps des hydrogéoïdes.

C'est le cas par exemple de l'Hélium une fois ionisé,  $\text{He}^+$ , ou du Lithium deux fois ionisé,  $\text{Li}^{++}$ . La structure est identique à celle de l'hydrogène (un seul électron restant en orbite autour du noyau), mais le noyau est composé de plusieurs protons et neutrons. Les neutrons n'interviennent pas dans la force attractive. Seul le nombre de charge  $Z$  du noyau intervient. Aussi, dans les relations suffit-il de remplacer  $e^2$  par  $Ze^2$  pour pouvoir prédire les nouvelles raies. C'est ainsi que Bohr lui-même a pu identifier la série de raies de l'Hélium ionisé avec les raies du mystérieux protohydrogène détecté dans quelques étoiles, comme nous l'avons signalé en introduction.

### Mécanismes d'émission et d'absorption

Nous avons donc compris que l'atome ne peut absorber ou émettre que des paquets d'énergie correspondant à la différence d'énergie de deux orbites. Si, initialement, l'électron est sur une orbite d'énergie  $E_1$ , il peut absorber de l'énergie et passer sur une orbite d'énergie  $E_2$  supérieure. L'absorption se fera exactement à la longueur d'onde  $hc/(E_2-E_1)$ .

En effet, la différence d'énergie ne peut correspondre qu'à un photon de fréquence  $h\nu$  (c'est ce qu'a montré Planck). Or la fréquence est liée à la longueur d'onde par la vitesse de la lumière  $\nu=c/\lambda$ . De même si un électron est sur un niveau d'énergie  $E_2$  et retombe sur un niveau d'énergie  $E_1$ , plus bas, il y a émission à la seule longueur d'onde  $hc/(E_2-E_1)$ .

Si maintenant nous considérons des échanges plus énergétiques, au-delà de l'énergie d'ionisation, tous les niveaux d'énergie sont permis entre l'atome ionisé et l'électron libre. Le rayonnement émis ou absorbé est alors un rayonnement continu.

Signalons que, entre atomes ionisés et électrons libres, il peut y avoir également une interaction simple, d'échange d'énergie cinétique, un peu comme quand deux corps célestes passent l'un près de l'autre. Le rayonnement qui en résulte se fait également à toutes les longueurs d'onde. On appelle ce rayonnement le " Bremsstrahlung".

Bref, un atome peut absorber ou émettre à des longueurs d'onde bien précises :

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E},$$

( $\Delta E$  est la différence d'énergie des deux orbites impliquées). Au-delà d'une certaine énergie, l'émission et l'absorption de rayonnement peut se faire à toutes les longueurs d'onde.

## Spectres des objets astronomiques

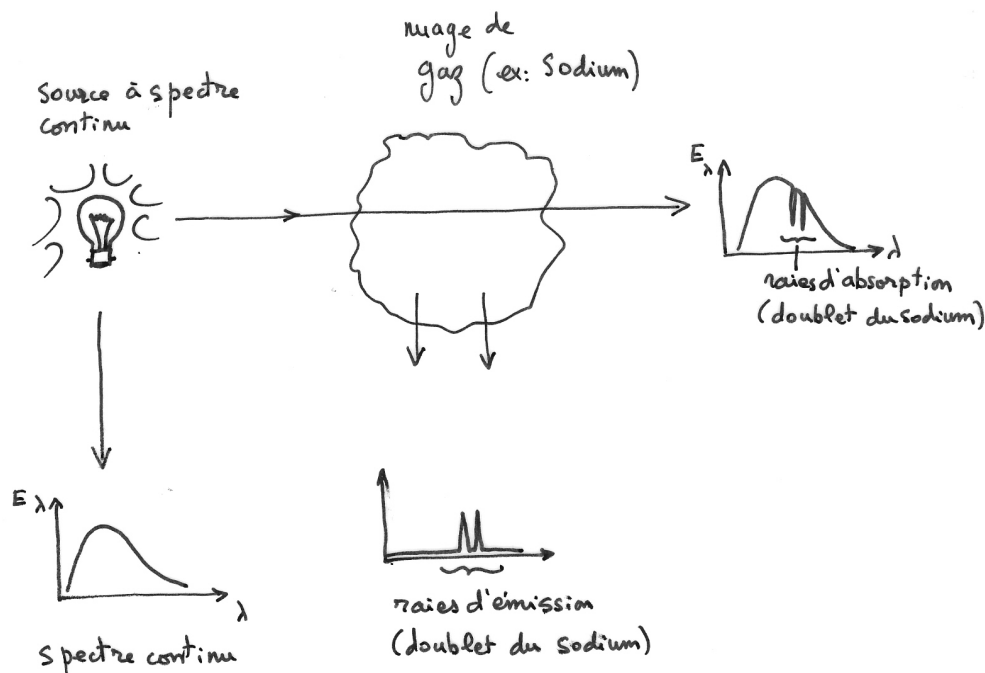
Mais pourquoi les étoiles montrent-elles souvent des raies d'absorption et rarement des raies d'émission? Pourquoi les nuages gazeux

interstellaires (on les appelle les nébuleuses gazeuses) ne montrent-ils que des raies d'émission? C'est ce que nous allons essayer de comprendre.

Regardez d'abord le schéma ci-dessous qui résume les différentes situations possibles. La source principale donne un spectre continu de corps noir, à une certaine température. Le spectre de la source vue à travers le nuage (par exemple de Sodium) est le même, mais il est privé des longueurs d'onde propres au corps composant le nuage (par exemple le doublet du Sodium apparaît comme deux raies d'absorption).

Le nuage de gaz a absorbé ces radiations. Il va les réémettre (sinon sa température augmenterait à l'infini), mais dans toutes les directions. Le spectre du nuage seul montrera seulement la réémission de ces raies (par exemple du doublet du Sodium). Remarquons que le spectre de droite reçoit une partie de cette réémission. Les raies d'absorption ne tombent pas à une émissivité nulle. Quant au nuage de gaz, il émet principalement sur les longueurs d'onde qu'il a absorbées, mais il présente aussi un faible rayonnement continu correspondant à sa température propre, très faible.

Le cœur chaud des étoiles émet un rayonnement continu et les raies spectrales d'absorption proviennent de l'atmosphère plus froide, entourant l'étoile. Quelques rares étoiles ont une enveloppe gazeuse étendue qui produit des raies d'émission. Enfin, les nuages de gaz, excités par les étoiles voisines, émettent des raies d'émission. On a tout compris !





## Autour du mot MARS

Jean-Luc Dewez<sup>1</sup> et Olivier Dargent<sup>2</sup>

**Résumé :** *Après avoir examiné, dans un article précédent, l'origine du mot Mars et l'héritage mythologique que nous en avons reçu, les auteurs discutent de l'héritage symbolique.*

### L'héritage symbolique

Le cercle fléché en haut à droite représentait à l'origine le bouclier rond dont dépassait la pointe de la lance du guerrier prêt au combat. Ce symbole sera repris par l'alchimie, l'astrologie, et même par la médecine

Au cours de l'histoire de la médecine, le symbole graphique de la planète Mars utilisé en astrologie a été repris pour désigner le sexe masculin (et celui de Vénus pour le sexe féminin). De plus, *Mars* et *masculin* partageraient la même racine étymologique ! Même si c'est surtout, sans doute, parce que le dieu Mars incarnait une certaine forme de virilité, il est donc assez logique que l'on se soit servi de lui et de son symbole pour désigner l'homme au sens d'être humain mâle.

Cette tradition a inspiré le jeu de mots intitulant un récent essai à succès : *Men are from Mars, women are from Venus*, de John Gray (*Les hommes viennent de Mars, les femmes de Vénus*) (R. Lafont, 1999). Voici le commentaire de l'édition française :

*« la métaphore de John Gray sur ces deux peuples venant de planètes différentes avec chacune ses coutumes et ses habitudes, permet d'assimiler que les hommes et les femmes évoluent selon des logiques différentes : pourquoi en est-il ainsi ? Est-ce inné ? Est-ce une affaire d'éducation ? Le livre ne le dit pas. John Gray illustre les différences qui séparent les deux sexes par la métaphore de Mars, dieu de la guerre, et de Vénus, déesse de l'amour. Nos crises, nos malentendus, nos incompréhensions, sont imputables aux différences profondes de nos natures. L'auteur livre ses réflexions de spécialiste en thérapie conjugale et donne des exemples de la*

vie de tous les jours pour progresser dans son couple.

La médecine a aussi utilisé l'adjectif martial dans le sens chimique archaïque de « relatif au fer » ; une anémie, par exemple, pouvait être expliquée par une « *carence martiale* ».

Pour les **alchimistes**, qui exploraient de façon pré-scientifique ce que nous appelons aujourd'hui la chimie, le fer était mystérieusement associé à la planète Mars, pas à cause des armes, mais sans doute parce que beaucoup de composés comportant du fer sont rouges (le mot rouille en est d'ailleurs témoin). Mais ce qui était croyance sans véritable fondement est validé par la chimie spatiale moderne : la surface de Mars doit bien ses teintes rougeâtres à des composés ferreux.

**Chimie :** La chimie a longtemps utilisé la référence à Mars, notamment en employant l'adjectif martial dans le sens de « qui contient du fer », par héritage de l'alchimie; ex : *pyrite martiale, teinture de Mars*.

**L'astrologie** utilise des données symboliques qui plongent leurs racines dans d'anciennes mythologies et croyances, et perpétue des associations symboliques traditionnelles [...].

L'association de Mars et du signe du Bélier est reprise par le **tarot** pour sa figure de l'Empereur, qui est, après tout, étymologiquement, le chef de guerre (*imperator = général en chef* en latin). Par ailleurs, le mot bélier, qui désignait à l'origine un animal dont le tempérament et la manière de se battre ont nourri le symbolisme développé ci-dessus, a aussi servi, comme par hasard, à nommer l'antique instrument utilisé pour enfoncer les portes lors de l'attaque de places fortes : lui aussi avait donc une charge belliqueuse. De plus

bélier se disait *aries* en latin, un terme qui fait beaucoup penser au nom grec du dieu (Arès). Coïncidence ?

Parlons de la présence de Mars dans l'interprétation des « signes » de la main (Source : site d'*Astro-France*, section **chiromancie**). Mont extérieur de Mars : situé sur la partie extérieure de la main, il représenterait la faculté à faire preuve de courage face à des situations complexes, difficiles(...). La plaine de Mars : cette partie de la main, qui se trouve au milieu de la paume entre le pouce et l'index, représenterait les facultés de la personne à affronter les problèmes, les complications extérieures, ses instincts. Selon la résistance de cette partie de la main, sa fermeté,

on pourrait déterminer la résistance physique de la personne.

(1) Jean-Luc DEWEZ, professeur de Lettres au lycée Marie Curie, Nogent-sur-Oise (60).  
jldewez@wanadoo.fr

(2) Olivier DARGENT, professeur de SVTU (Sciences de la vie, de la Terre et de l'univers) au lycée Marie Curie, Nogent-sur-Oise (60)  
olivier.dargent@free.fr

Groupe d'étude SDTICE (Sous-Direction des Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Education) Ministère de l'Education Nationale (75).

■

## Pourquoi certaines personnes croient en l'astrologie ?

Hasard de l'édition, ce numéro fait la part belle à l'astrologie (cf. l'article ci-dessus et la rubrique "Lecture pour la Marquise"). Evidemment ce n'est pas pour soutenir un quelconque fondement à cette "discipline". Nous vous proposons un amusement qui peut vous faire comprendre pourquoi certaines personnes n'hésitent pas à clamer que "ça marche", avec pour preuve des faits troublants et des coïncidences précises.

Si vous avez l'occasion de regarder les informations à la télévision, amusez vous à noter le nom, soit du reporter, soit de la personne interviewée. Ce nom est souvent écrit fugitivement au bas de l'écran, sans autre commentaire. Parfois, le présentateur donne le nom : "nous retrouvons notre correspondant ....". Vous aurez la surprise de constater que très souvent, le nom de la personne se rapporte au sujet traité. Par exemple : Monsieur "Deleau" qui parle des inondations, Monsieur Chauffard qui commente un accident de la route, Madame Bouillon qui donne la recette d'une soupe, etc. Vous en arriverez peut-être à croire à une certaine prédestination des gens. Quelle explication à ces curieuses coïncidences ?

Tout d'abord, il est assez facile de trouver une coïncidence entre un nom et n'importe quel sujet, parfois de manière détournée. Madame Bouillon eut-elle parlé des inondations que nous aurions pu y trouver une coïncidence. Mais à cela s'ajoute une autre chose. Quand une belle coïncidence arrive (Monsieur Leboeuf parlant de la vache folle), on la mémorise, on en parle. Bref, cette coïncidence nous marque. Si au contraire, il n'y a pas de coïncidence évidente (Monsieur Leboeuf parlant des inondations) on passe, sans plus. Finalement, l'impression qui subsiste est celle de coïncidences bien réelles. En plus d'être éducatif, ce jeu vous amusera car je vous assure que l'on tombe parfois sur de très belles perles.

Pour en revenir à la question du titre, il me semble que l'astrologie fonctionne sur ce principe : des prédictions assez floues qui peuvent s'appliquer à tout un chacun. La mise en lumière des coïncidences fortuites fait le reste. Souvent aussi, l'astrologie se contente de donner des conseils de bon sens, sans aucun caractère prédictif : "faites de l'exercice, dormez bien, mangez bien et tout ira bien...". Dans ce cas n'hésitez pas à suivre les conseils de votre horoscope.

tu es bien un Bélier  
pour croire en ces fadaïses

GP

## Gravitations imaginaires

Pierre Lerich

**Résumé :** *Avant même la publication des « PRINCIPIA » de Newton, tous les astronomes étaient déjà convaincus de l'existence de la gravitation et de sa décroissance selon le carré de la distance à l'astre attracteur. Le grand mérite de Newton est d'avoir démontré ce qui jusque-là n'était qu'une conviction. Mais cette démonstration l'a amené à étudier bien d'autres cas que le carré de la distance, des cas qui n'existent pas dans l'univers : cela n'empêche pas de les étudier.*

**La section II** des « PRINCIPIA » commence par la démonstration de la loi des aires, que Kepler avait constatée et vérifiée, mais pas expliquée. Curieusement, la démonstration de Newton ne cite pas une seule fois le nom de Kepler. Cette loi des aires est nécessaire pour établir le principe des sections II et III : la force « centripète », dans une courbe quelconque, est proportionnelle à la déviation du corps attiré par rapport à la tangente à cette courbe (le « sinus verse » de l'arc parcouru, selon les définitions de l'époque) et inversement proportionnelle au carré du temps employé à décrire cet arc. L'expression obtenue va servir à étudier toutes les gravitations possibles, parmi lesquelles on trouvera évidemment celle qui nous concerne tous.

Par exemple, supposons qu'un corps décrive une spirale autour d'un autre plus massif. Par quelle force est-il attiré ? Newton démontre que cette force varie comme l'inverse du cube de la distance. Il ne s'agit pas ici, comme dans le livre II d'une trajectoire freinée par un milieu résistant (cas des satellites artificiels en fin de vie), mais d'une trajectoire libre, résultant seulement du cube de la distance. Newton ajoute aussitôt une seconde démonstration plus rapide (« La même chose autrement », écrit-il).

Autre exemple : supposons un corps décrivant une ellipse, étant attiré par le centre de cette ellipse, et non par l'un de ses foyers, comme dans notre univers réel. Newton démontre que la force attirante serait dans ce cas directement proportionnelle à la distance à ce centre. Là aussi, il propose une seconde démonstration plus rapide.

On peut se poser des questions sur ce monde imaginaire, car à l'infini, la force attirante serait elle aussi infinie, et comme le montre Newton dans un corollaire, toutes les orbites seraient décrites dans le même temps, quelle que soit leur distance, ce qui entraînerait des vitesses inimaginables pour des planètes très éloignées.

**La section III** est consacrée aux sections coniques « excentriques », dans lesquelles l'astre attirant n'est pas au centre de la figure. C'est évidemment le cas du monde réel, et cette gravitation-là n'est nullement imaginaire. En partant successivement de l'ellipse, de la parabole et de l'hyperbole, Newton démontre la loi de l'inverse carré selon une méthode géométrique très élégante. La démonstration moderne procède à l'inverse : elle part des vitesses, des distances et des masses pour aboutir à l'équation différentielle qui détermine l'orbite. Détail étonnant à propos de l'hyperbole : Newton remarque en passant que si la force attractive était remplacée par une force répulsive d'égale intensité, le corps repoussé décrirait une hyperbole semblable, conjuguée de la précédente. Cela revenait à imaginer une sorte de gravitation négative ou d'anti-gravitation. C'est dans cette même section que Newton démontre la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler, et de nouveau le nom de Kepler n'est pas mentionné. Kepler avait proposé cette loi sans aucune explication, l'ayant peut-être trouvée par tâtonnements comme le pensent plusieurs historiens. Peut-être Newton voulait-il marquer son dédain pour ceux qui trouvent, mais ne démontrent pas.

On retrouve des cas de gravitations imaginaires dans la section IX consacrée aux mouvements des apsides. Les périhélie des planètes tournent lentement (une fraction de degré par siècle) mais le périhélie lunaire avance de  $3^\circ$  environ par lunaison, ce qui est considérable. Cette section IX était considérée par Laplace comme l'un des plus beaux chapitres de toute l'histoire des sciences. Pascal affirmait qu'on devrait parler de « beauté géométrique » comme on parle de beauté poétique, picturale, musicale, etc... La beauté géométrique de la section IX est évidente, une fois surmontée la difficulté du texte et de la figure. Celle-ci comporte une ellipse mobile superposée à une ellipse fixe. Si on voit deux ellipses fixes, au lieu d'une fixe et d'une mobile, on ne peut pas suivre le raisonnement. Il faut vraiment voir « bouger » une partie de la figure. Si on y parvient, le raisonnement devient lumineux et le plaisir ressenti est incomparable. De cette démonstration géométrique résulte une méthode générale applicable à toutes les lois imaginables de décroissance de la gravitation. Le premier exemple proposé par Newton est celui d'une gravitation constante, égale à toutes les distances (mais toujours orientée vers un centre fixe). Dans ce cas, l'angle parcouru entre l'apside élevée et l'apside basse serait de  $103^\circ 55' 23''$ . Certes, ce résultat est obtenu grâce à une approximation : l'ellipse considérée (qui n'en est pas une) doit être peu excentrique, assez voisine du cercle. Ceci n'est pas un « point faible » de la méthode de Newton, car il n'y a pas d'astronomie, même la plus moderne, sans approximations. Les développements en série utilisés aujourd'hui sont d'autant plus précis que l'ellipse se rapproche du cercle.

L'exemple suivant suppose la force attractive directement proportionnelle à la distance. Dans ce cas, l'angle parcouru entre l'apside élevée et l'apside basse serait de  $90^\circ$ . On aurait donc deux apsides élevées distantes de  $180^\circ$  et le foyer de la conique deviendrait alors son centre. On retrouve ainsi par une autre méthode le second exemple proposé dans la section II.

Si la force attractive était inversement proportionnelle à la distance, les apsides hautes et basses seraient distantes de  $127^\circ 16' 45''$ . Puis Newton envisage un cas étonnant : si la force attractive variait comme la racine quatrième de la puissance 11, c'est-à-dire inversement à la puissance  $11/4$  de la distance, l'angle en question serait de  $360^\circ$ . Le corps considéré quitterait l'apside élevée, descendrait pendant un tour complet puis remonterait au tour suivant jusqu'à son altitude initiale. Newton imagine même un corps qui

descendrait pendant 4 révolutions puis remonterait pendant les 4 révolutions suivantes (puissance  $-2,984$  de la distance).

On revient à la réalité à la fin de cette section : si à la gravitation « normale » en  $1/R^2$ , on ajoute (ou retranche) une petite force perturbatrice proportionnelle au cube de la distance, la planète retrouvera son apside élevée après un peu moins (ou un peu plus) de  $360^\circ$ . C'est le cas de la Lune, un peu moins attirée par la Terre à cause de la présence du Soleil. Newton n'a pu obtenir que la première approximation de ce mouvement du périhélie lunaire.

Le problème était très difficile, car un siècle plus tard, les marins se plaignaient encore de l'imperfection des tables de la Lune, qu'ils utilisaient pour faire le point.

Un cas particulier de gravitation imaginaire se trouve dans la section XII. Il s'agit de la gravitation nulle, qui règne à l'intérieur d'une « surface sphérique ». Ici la démonstration géométrique est très simple et très rapide. Imaginons une planète creuse composée d'une croûte rigide épaisse de quelques centaines de kilomètres, et à l'intérieur, le vide ou une atmosphère quelconque. Newton démontre en quelques phrases que dans ce vide, l'apesanteur serait parfaite. On peut imaginer un voyage aux antipodes sans aucune dépense d'énergie (sauf les deux traversées de la couche solide). Ici, on passe directement de la science à la science-fiction. Certes, l'existence d'une planète creuse est peu plausible, mais la démonstration de Newton est quand même totalement convaincante.

Qu'est-ce qui distingue la gravitation réelle de toutes les gravitations imaginaires ? Newton a toujours refusé de se prononcer sur la nature de cette force et sur cet exposant  $-2$  qui lui est attaché. Sur ce point, un siècle après Newton, Laplace a proposé une remarque intéressante. Il a observé que la loi du carré inverse était la seule qui laisserait l'univers inchangé si on multipliait toutes ses dimensions d'une façon quelconque. Par exemple si toutes les dimensions étaient multipliées par 2, la force centrifuge des planètes continuerait de contrebalancer la force attractive du Soleil, par conséquent les planètes décriraient des ellipses semblables et personne ne s'apercevrait de rien. Avec tout autre exposant que  $-2$ , ce serait le chaos. Il est vrai que dans ce cas, l'univers n'existerait pas, et il n'y aurait donc personne pour en prendre conscience. Laplace remarque aussi que  $-2$  est le seul exposant qui permette de rassembler toute la masse d'une planète en un point, son centre de gravité.

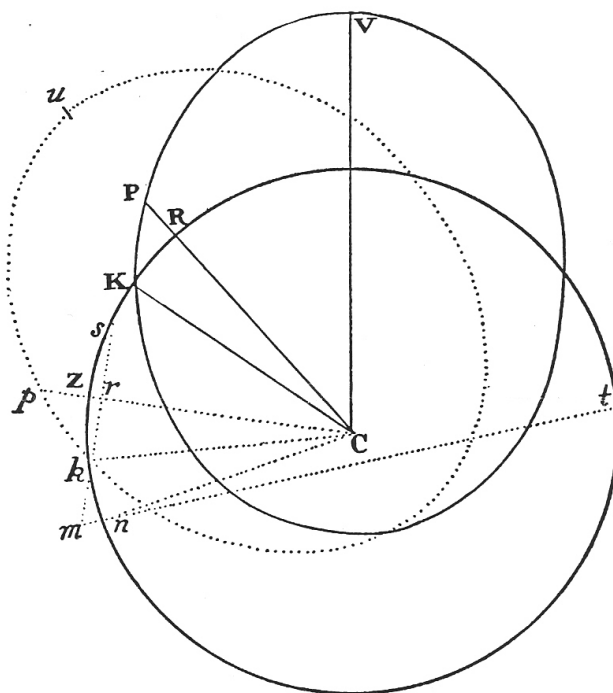
On comprend mieux la gravitation réelle quand on la situe parmi toutes les gravitations imaginables. Cela dit, on n'en sait guère plus sur sa nature profonde. Une force qui s'exerce à distance sans intermédiaire, c'est mystérieux, et Newton en était bien conscient. Si on interprète la gravitation comme une « courbure de l'espace-temps », il n'y a plus de mystère, et l'énigme du périhélie de

Mercuré est éclaircie. Ce fut l'un des premiers triomphes de la Relativité. Mais à ce niveau d'abstraction, la science devient difficile à suivre, réservée aux spécialistes. Heureusement, la gravitation selon Newton reste largement suffisante pour les besoins de l'astronomie pratique. ■

PROPOSITION XLIV. THEOREM XIV

*The difference of the forces, by which two bodies may be made to move equally, one in a fixed, the other in the same orbit revolving, varies inversely as the cube of their common altitudes.*

Let the parts of the fixed orbit VP, PK be similar and equal to the parts of the revolving orbit  $up, pk$ ; and let the distance of the points P and K be supposed of the utmost smallness. Let fall a perpendicular  $kr$  from the point  $k$  to the right line  $pC$ , and produce it to  $m$ , so that  $mr$  may be to  $kr$



as the angle  $VCp$  to the angle  $VCP$ . Because the altitudes of the bodies PC and  $pC$ , KC and  $kC$ , are always equal, it is manifest that the increments or decrements of the lines PC and  $pC$  are always equal; and therefore if each of the several motions of the bodies in the places P and  $p$  be resolved into two (by Cor. II of the Laws of Motion), one of which is directed towards the centre, or according to the lines PC,  $pC$ , and the other, transverse

# AVEC NOS ELEVES

## La hauteur des montagnes sur la Lune

G. Paturel, Observatoire de Lyon

*Avant l'exploration spatiale, les astronomes ne connaissaient pas avec précision le relief de la Lune. Ils ont pourtant réussi à mesurer la hauteur de certaines montagnes par une méthode astucieuse que nous allons appliquer ici. Le principe consiste à estimer la hauteur d'une montagne par la mesure de la longueur de son ombre. Encore faut-il connaître l'angle sous lequel le Soleil éclaire la montagne. Comment faire ?*

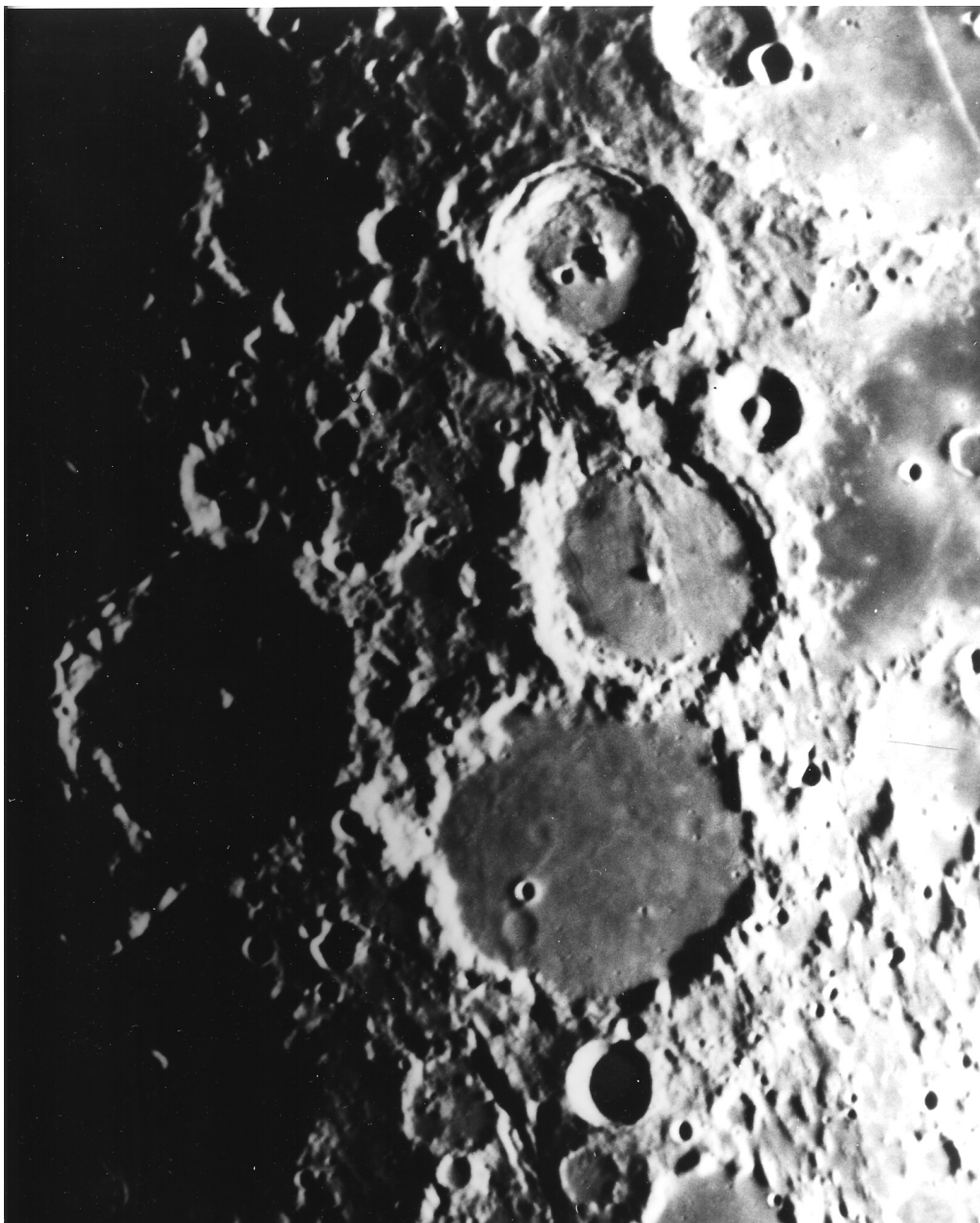
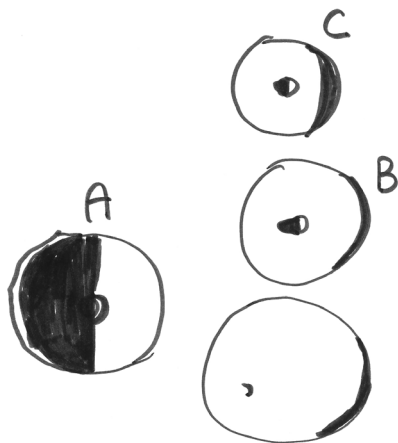
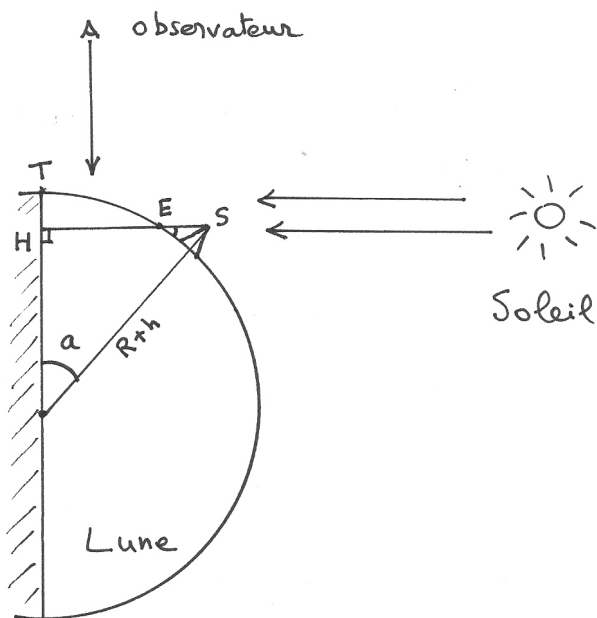


Photo 1 : Nord en bas, Est à droite - Cliché J.H. Bigay,, T193 OHP (1962)

Observez la première photo qui montre le détail de cratères : Ptolemaeus (en bas), Alphonsus (au milieu = B) et Arzachel (en haut = C) et Albategnius (à gauche = A) lors d'un dernier quartier (la photo est renversée). Vous voyez que la partie de gauche est complètement à l'ombre. Pour faciliter le repérage nous avons désigné les cratères par des lettres, selon le schéma ci-joint.



Par définition, à la position du terminateur, l'éclairage est rasant. Le cliché de la Lune est pris au dernier quartier. Le Soleil est exactement à l'horizon du lieu. Un petit croquis permet de comprendre comment déduire l'angle sous lequel un cratère est éclairé.



### Comment procéder ?

Nous allons appliquer une méthode simplifiée, car il n'est pas question ici d'avoir beaucoup plus qu'une estimation.

La première chose à faire est de repérer les cratères avec une photo sur laquelle nous voyons la quasi totalité du diamètre de la Lune. Voici la photo dont la résolution est suffisante. Nous la donnons en négatif pour économiser votre cartouche d'encre.

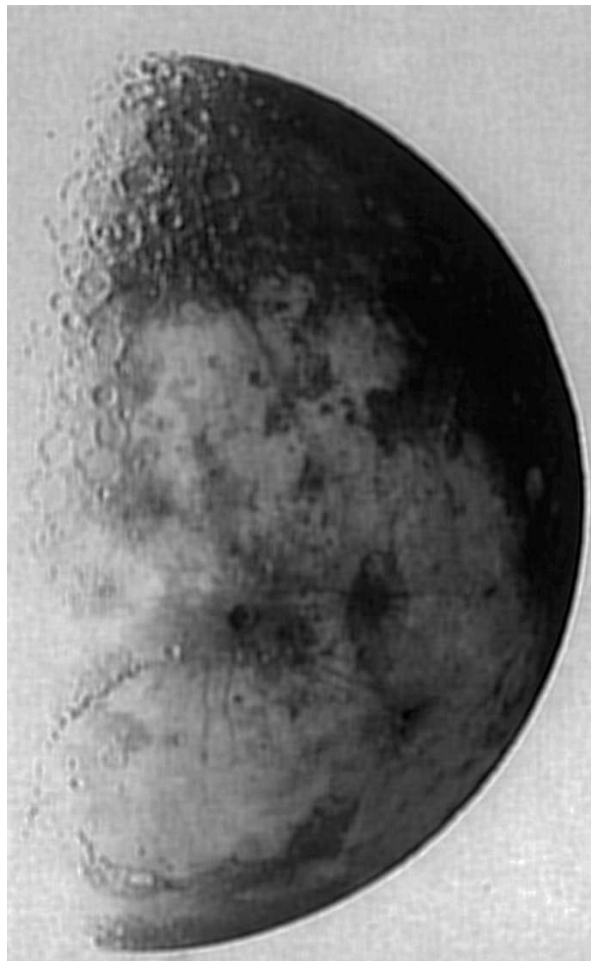


Photo 2 : Nord en bas, Est à droite - Cliché CLEA-Belin

Vous pouvez copier les photos et les imprimer, ce sera plus facile pour faire des mesures. Vous pouvez aussi faire les mesures sur l'écran. C'est moins pratique et moins précis. Nous allons mesurer tout d'abord la hauteur de la pointe rocheuse, au centre du cratère B.

- 1) Repérez donc les cratères étudiés sur la photo ci-dessus (photo2). Ils sont sur la gauche, à mi-hauteur du cliché.
- 2) Sur la première photo (photo1), essayez de placer le terminateur et repérez-le sur la deuxième photo.

3) Mesurez sur le deuxième cliché la distance  $L=SH$  entre la ligne de terminateur et une ligne parallèle passant par la pointe rocheuse. Cette mesure sera exprimée en millimètres. Mesurez aussi le diamètre de la Lune en millimètres. Déduisez le rapport  $SH/R = L/R$ , où  $R$  est le rayon de la Lune.

4) Sachant que le rayon de la Lune est d'environ 1800 km, quelle est la valeur de  $L$  en kilomètres ? Cette valeur va nous fournir l'échelle du cliché détaillé.

5) Sur le cliché détaillé (photo1), mesurez la longueur  $L$  ainsi que la longueur  $d=SE$  de l'ombre de la pointe rocheuse (en millimètres). Trouvez alors la longueur de son ombre  $d$  en kilomètres.

6) Montrez que la hauteur  $h$  de la pointe rocheuse est égale à  $h = SE \cdot SH / (R+h) \approx d \cdot L / R$ . En déduire la hauteur  $h$  en mètres.

7) Mesurez aussi la longueur de l'ombre du bord droit du cratère C. Calculez sa hauteur.

8) Que se passerait-il si le premier cliché n'était pas pris au premier quartier ?

## Réponses

On fait passer le terminateur de l'ombre par la pointe rocheuse au centre du cratère A. Ce centre nous permet de tracer le terminateur, à peu près parallèle au bord gauche du cliché. Sur un tirage du deuxième cliché on trouve :  $2R=119\text{mm}$  et  $L=7\text{mm}$ . Le rapport  $L/R=0,118$ . Avec  $R=1800\text{ km}$  on trouve  $L=212\text{ km}$ .

Notez que, selon le grandissement des tirages des photos, vous pouvez trouver des valeurs différentes, mais les rapports de longueurs doivent être à peu près identiques à ceux que nous donnons.

Sur le premier cliché (cliché détaillé) on mesure  $L=58\text{ mm}$ . Donc, sur ce cliché  $1\text{mm} = 2,55\text{ km}$ . La longueur  $d$  de l'ombre de la pointe rocheuse du cratère B est  $d=2,5\text{ mm}$ . Donc, la longueur de cette ombre vaut  $d=9,14\text{ km}$ . A partir du deuxième croquis on trouve facilement :

$$h = SE \cdot \sin(a) = SE \cdot SH / (R+h) \approx d \cdot L / R.$$

On trouve donc environ  $h=1100\text{ mètres}$ .

La longueur de l'ombre du bord droit du cratère C mesure 6.5 mm environ. Il est placé sur un même méridien que la pointe rocheuse précédente, on peut donc considérer qu'il est éclairé sous le même angle. Cela correspond à environ une hauteur de :

$1100 \times 6,5/2,5$ , c'est-à-dire une hauteur d'environ 3000 mètres. L'impression que l'on doit avoir depuis la plaine est peut-être proche de la vision que nous aurions depuis la vallée de Chamonix en regardant le Mont-Blanc, la neige en moins.

Si on utilise un cliché qui n'est pas pris au premier quartier, l'angle sous lequel le cratère est éclairé n'est pas égal à l'angle au centre. Il faut faire une correction pour tenir compte de l'angle de phase de la Lune. Mais pourquoi se compliquer la vie quand il suffit d'attendre un quartier !

Un autre problème se pose, plus difficile : le calcul dépend-il de la latitude du cratère ? Nous reviendrons sur ce point difficile, dans un prochain article.



## Lecture de Kepler - III

K. Mizar

**Résumé :** *Achevons la lecture commentée de la "Conversation avec le messager céleste". Après avoir longuement discuté de la lunette puis des observations de la Lune, Kepler traite, dans les deux dernières parties, des étoiles et des satellites de Jupiter. Ainsi aura-t-il passé en revue tous les sujets qui préoccupent, à l'époque, les astronomes. En passant, cela nous fait mesurer le chemin parcouru par la recherche en 374 ans : autant de changements dans l'appareillage que dans la problématique.*

### Étoiles et planètes

Surprise pour l'observateur qui pour la première fois met l'œil à la lunette -le cas de Kepler en 1610 est le même que celui de l'amateur débutant en 1984 - Jupiter ou Mars apparaissent avec un diamètre apparent notable, et même, pour Vénus, on constate tout de suite des phases, alors que les étoiles ne paraissent plus comme des astres "chevelus" ainsi qu'à l'œil nu, mais comme des points très brillants. Ce qui ne surprend quand même pas trop Kepler : "Je l'ai appris d'une longue expérience, au crépuscule, à l'aube, à travers un léger nuage ou un verre coloré".

Que les étoiles paraissent, à la lunette, si brillantes et ponctuelles, Kepler y voit la preuve que ce sont des soleils qui émettent de la lumière, alors que les planètes sont seulement éclairées par le Soleil. Justification bien sommaire, mais Kepler passe vite, ce qui lui paraît important, c'est le nombre d'étoiles visibles à la lunette : dix fois plus nombreuses que les mille étoiles connues des Anciens. Suivez son raisonnement :

"Plus nombreuses sont les étoiles, plus forte est mon argumentation contre l'infinité de l'Univers ainsi que je l'ai présentée au chapitre 21 de mon livre sur l'étoile nouvelle (\*). Cette argumentation prouve que là où nous autres pauvres mortels demeurons, dans la compagnie du Soleil et des planètes, c'est le cœur premier de l'Univers. D'aucune des étoiles fixes on n'aurait une vue de l'Univers comme il est possible de l'avoir à partir de notre Terre ou même à partir du Soleil,"

L'affirmation nous surprend. Mais rappelons-nous que Kepler sous-estime d'une façon énorme la distance des étoiles fixes ; au début du XVII<sup>ème</sup> siècle, la parallaxe du Soleil est encore surestimée et

l'on n'a pas la moindre idée de ce que pourrait être la parallaxe annuelle d'une étoile. Ce qui n'empêche pas Kepler d'avoir raison sur un point : depuis Véga (ou depuis toute autre étoile), on aurait une vue très différente des constellations, un groupe de travail l'a étudié, justement en partant de Véga.

Autre idée curieuse de Kepler, il imagine que mille étoiles ayant chacune un diamètre apparent d'une minute d'angle, si elles étaient réunies, formeraient une surface supérieure à celle du disque solaire ; or la nuit, ces mille étoiles nous éclairent moins que le Soleil. Pour Kepler, les étoiles sont des petits soleils. Rien de commun, en tout cas, entre l'idée qui précède et l'argumentation qui conduit au paradoxe d'Olbers.

Et ce qui compte le plus pour Kepler, c'est la conviction que le système solaire est au centre de l'Univers.

### La Voie Lactée

Kepler félicite Galilée d'avoir reconnu que la Voie Lactée était composée d'étoiles en très grand nombre. C'était déjà l'avis de Démocrite et Kepler l'avait reprise dans sa "Défense de Tycho" parue en 1600.

On ne pourra plus prétendre, ajoute Kepler, que les "étoiles nouvelles", ainsi que les comètes, se forment à partir des matériaux de la Voie Lactée. C'était la thèse défendue par Tycho à propos de la nova de 1572 et Kepler paraissait se rallier à cette explication. Mais maintenant, après avoir lu le Sidereus Nuncius, il l'abandonne définitivement.

## Les satellites de Jupiter

Kepler se réjouit que Galilée ait découvert des satellites et non pas de nouvelles planètes ; celles-ci auraient perturbé sa conception sur l'harmonie du système solaire, le système des six planètes s'accordant aux cinq polyèdres réguliers ainsi qu'il l'avait exposé dans le Prodromus en 1595-Alors Kepler est donc un homme comme les autres, il tient à ce modèle qu'il a imaginé alors qu'en 1609 il a publié L'Astronomie nouvelle ; comment concilier les orbites elliptiques et le système des sphères emboîtées ? Kepler sait bien qu'on ne peut inscrire une ellipse sur une sphère. Les idées a priori ont une grande force...

Kepler se réjouit aussi que la découverte des satellites ne porte pas atteinte aux règles de l'astrologie ; celles-ci sont fondées (si l'on peut dire, mais Kepler y reste attaché) sur les "aspects" des planètes, c'est-à-dire leurs positions respectives et leurs situations dans les constellations zodiacales. Que Jupiter soit une planète isolée ou accompagnée d'un ensemble de satellites très proches, rien de changé pour l'établissement des horoscopes. Nous n'aurions évidemment pas songé à cette remarque, mais Kepler n'oublie pas que ces horoscopes lui apportent quelques subsides.

La Lune, vue de Jupiter ou de Saturne, s'écarte bien peu de la Terre ; Kepler donne des valeurs inexactes parce qu'il ne dispose pas d'une bonne valeur de la distance Terre-Soleil.

Amusez-vous donc à corriger son estimation : selon lui, la Lune s'écarte de la Terre de 18' ou 12', vue de Saturne, de 36' ou 24', vue de Jupiter, deux valeurs maximales différentes selon que ces planètes sont en conjonction ou en opposition. "La conclusion, écrit Kepler, est tout à fait claire. Notre Lune existe pour nous, sur la Terre, non pour les autres globes. Ces quatre petites lunes existent pour Jupiter, non pour nous. Chaque planète avec ses habitants est servie par ses propres satellites. D'après ce raisonnement, nous en déduisons avec le plus haut degré de probabilité que Jupiter est habitée." Cette conception finaliste des satellites m'a paru tellement surprenante que je n'ai pas résisté au plaisir de la citer ; non pour me moquer de Kepler mais bien pour mesurer l'évolution de nos mentalités.

La rotation de la planète Jupiter sur elle-même n'a vraiment été observée qu'un demi-siècle plus tard. Cependant Kepler dit que son ami Wackher,

conseiller de l'Empereur, l'a notée et il conjecture que sa période doit être très inférieure à un jour.

(Plus surprenant encore, quelques années plus tard, Kepler parlera d'une tache rouge qui n'a été observée que plus de deux siècles plus tard). Mais, pour en revenir à la rotation de la planète, elle paraît nécessaire à Kepler puisque, dans sa conception mécanicienne, c'est cette rotation qui entraîne le mouvement des satellites sur leurs orbites ; et la période de lo est si courte que la période de rotation propre de Jupiter doit l'être aussi.

Dans le système de Copernic, le fait que la Lune est un satellite de la Terre constitue une exception ; à nos yeux, une faiblesse du système. Pas du tout, objecte Kepler, puisque cela confirme que la Terre est la meilleure partie de l'Univers. À quoi nous avons bien envie de répondre : et maintenant que Jupiter a des satellites, crois-tu encore, cher Kepler, que la Terre soit privilégiée ?

La discussion sur ce point reste difficile avec Kepler ; en homme de son temps, il se situe toujours au centre du monde. "Au centre du monde, il y a le Soleil, fontaine de lumière, source de chaleur, origine de la vie et des mouvements cosmiques. Le ciel a été assigné au seigneur céleste, le Soleil à la perfection et la Terre aux enfants de l'homme." Pour ces derniers, il n'y a pas de globe plus noble, plus approprié à l'humanité puisque la Terre est au milieu des planètes : comptez bien, en excluant Lune et satellites, trois planètes supérieures, deux planètes inférieures et le Soleil.

Et ce n'est pas tout, encore une preuve qu'on est bien chez nous, mieux que partout ailleurs : ce n'est déjà pas facile d'observer Mercure à partir de la Terre, alors imaginez ce que ça doit être à partir de Jupiter. Il est vrai que par compensation, Jupiter a quatre satellites et que pour les Joviens qui ont beaucoup de mal à observer leurs quatre planètes inférieures, il y a ces quatre lunes. Le monde n'est vraiment pas mal fait !

Les pages qui précèdent ne donnent qu'un aperçu de tout ce que Kepler a exprimé dans sa lettre à Galilée. Il ne faut pas se méprendre sur ce qui nous paraît relever de la divagation. Tout à la fin de sa lettre, Kepler remarque qu'il y a encore des écarts inexplicables entre les orbites de Mars, de la Terre et de Vénus telles qu'il les a calculées et telles qu'on les déduit de l'observation. Il faudra encore plusieurs années pour que Kepler abandonne son modèle des polyèdres, plusieurs années et beaucoup de calculs (par logarithmes, cette nouveauté !) pour aboutir à la merveilleuse troisième loi. N'oublions pas que cette lettre à Galilée, c'est, pour nous, un

coup d'œil sur la pensée intime de Kepler à un moment déterminé, la pensée de Kepler est en mouvement et elle n'a pas encore atteint son sommet : L'Harmonie du Monde paraîtra en 1619. Cette "Conversation avec le Messager céleste", c'est de la science en train de se faire, de la divagation à côté de grandes idées novatrices. Kepler et Galilée sont de grands savants qui dialoguent, de grands savants, des hommes aussi.

(\*) De Stella Nova paraît à Prague en 1606 et traite de la nova apparue dans le Sagittaire en 1604.

<sup>1</sup>Article, saisi par Jean Ripert et paru en 1983, dans le CC n° 23, p. 7 sous la plume de Gilbert Walusinski, alias K. Mizar (voyez ci-dessous l'inconvénient qu'il y a à ne pas connaître les gens).

■

### **Au fil des perles des enseignants et des astronomes**

Voici une bourde authentique, d'un jeune astronome, un peu présomptueux. Lors d'un colloque, ce jeune astronome présentait un travail qui faisait appel aux "fractals", ce concept mathématique, fort utile dans de nombreux domaines, y compris en astronomie. Il fit son exposé avec beaucoup d'assurance et de concentration, sans porter attention au va-et-vient des auditeurs, comme c'est souvent le cas dans les grands colloques. A la fin de l'exposé le public applaudit et le "chairman" se tourna vers l'assistance pour solliciter les questions. Dans le fond, un monsieur âgé leva la main et posa une question que notre orateur ne comprit pas complètement. Pour ne pas sembler pris de court, il tenta une réponse en commençant ainsi : "Je regrette de dire, cher monsieur, que vous n'avez rien compris aux "fractals..."", mais il fut interrompu par un éclat de rire général des auditeurs. Le vieux Monsieur n'était autre que Benoît Mandelbrot, l'inventeur des "fractals".

Pour éviter qu'une pareille confusion ne se reproduise nous publions une photo de ce génial mathématicien français, dont les travaux ont eu des applications innombrables. Rappelons que le mot fractal est souvent utilisé en adjectif mais que le substantif existe et qu'il est féminin. On dit une fractale. GP.■



Photo G. Paturel

*De gauche à droite : L. Pietronero, B. Mandelbrot, G. Paturel, F. Sylos-Labini (partiellement caché), M. Montuori, H. Di Nella-Courtois.*

# REALISATIONS

## Comment mesurer la déclinaison du Soleil ?

Jean Ripert, Pradines

**Résumé :** dans un article précédent, nous avons abordé diverses méthodes pour déterminer la hauteur du Soleil, dans le présent article, nous allons passer en revue des moyens pour déterminer la déclinaison du Soleil.

### Rappel

La déclinaison d'un astre est l'angle que fait la direction de l'astre avec le plan équatorial céleste (parallèle au plan équatorial terrestre) **image 1**.

Dans le cas des étoiles, cet angle varie peu d'une année sur l'autre ; variation faible due au mouvement de précession

Par contre la déclinaison du Soleil varie de jour en jour sauf au voisinage des solstices (lat : *sol* : Soleil et *stare* : s'arrêter).

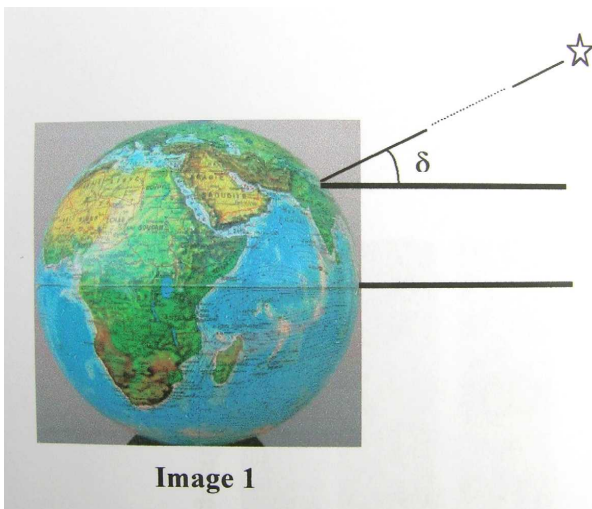


Image 1

Déterminer la déclinaison du Soleil revient à mesurer la "hauteur" du Soleil sur le plan équatorial.

### Dispositifs

Tous les dispositifs qui ont servi à mesurer la hauteur du Soleil (CC n° 109 p 19 ; rapporteur, gnomon, toise, théodolite) permettent de mesurer la déclinaison du Soleil à condition de les poser, non plus sur un plan horizontal, mais sur un plan parallèle à l'équateur terrestre et la mesure devra

être effectuée à midi solaire (passage du Soleil dans le plan méridien).

Quelle est la mesure de l'angle  $X$  entre ce plan et le plan horizontal du lieu ?

Sur le schéma 2, ci-dessous réalisé dans le plan méridien, donc à midi solaire, il est facile de constater que :

$$X = h - \delta$$

$$\text{et } 90^\circ = h - \delta + L$$

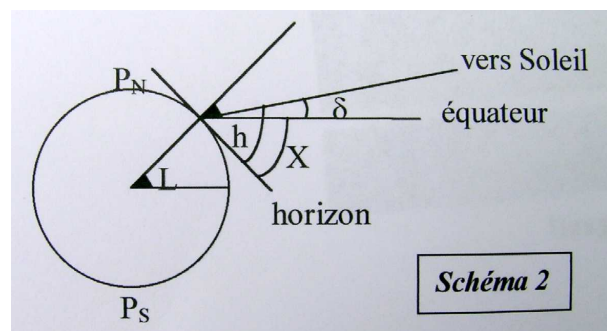


Schéma 2

avec :

$h$  = hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon, à midi solaire

$\delta$  = déclinaison du Soleil, le jour de la mesure,

$L$  = latitude du lieu.

Donc  $X = 90 - L$

Il suffit donc de placer les différents dispositifs sur un plan incliné sur le plan horizontal d'un angle correspondant au complément de la latitude.

La mesure se fera au-dessus ou au-dessous de ce plan suivant la saison.

Il est également possible de déduire la déclinaison du Soleil à partir de l'enregistrement de la course du Soleil. Pour cela nous utiliserons un héliographe.

## L'héliographe

Il est simplement constitué par une boîte cylindrique percée d'un trou à mi hauteur et dans laquelle on a placé un papier sensible à la lumière. L'axe de la boîte doit être parallèle à l'axe de rotation de la Terre, et le plan méridien du lieu doit passer par l'axe et le trou (placé vers le sud).

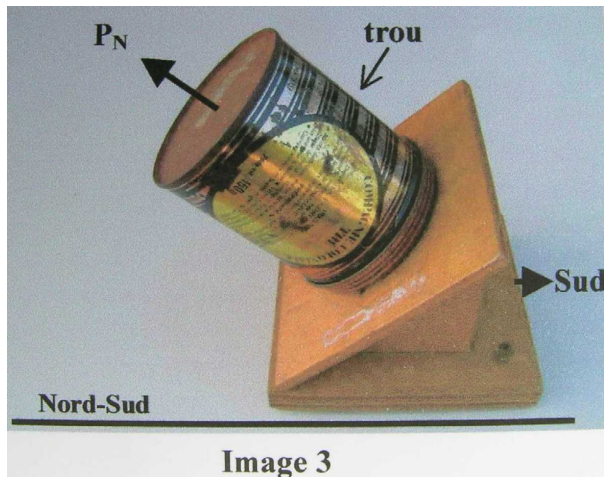


Image 3

## Enregistrement

Dans la journée, au cours du mouvement apparent du Soleil, la lumière va pénétrer par le trou et laisser une trace sur le papier.

Le papier sera révélé en fin de journée.

A partir de cette trace, il est possible de déterminer la déclinaison du Soleil.

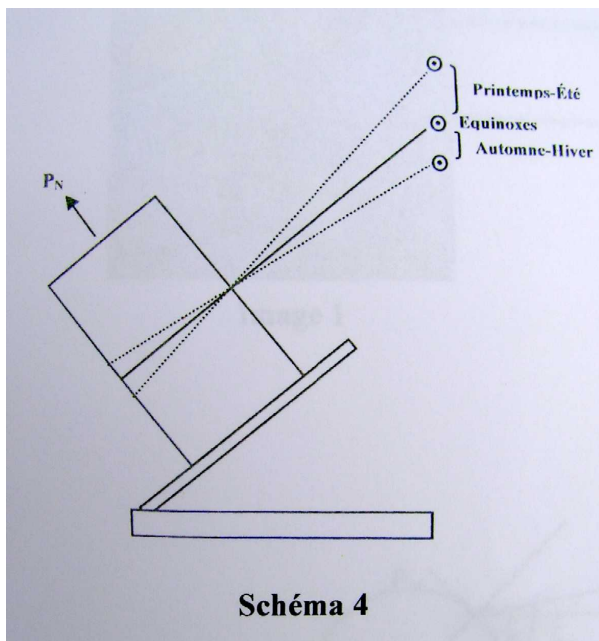


Schéma 4

Les courbes obtenues suivant la saison ont les allures suivantes.

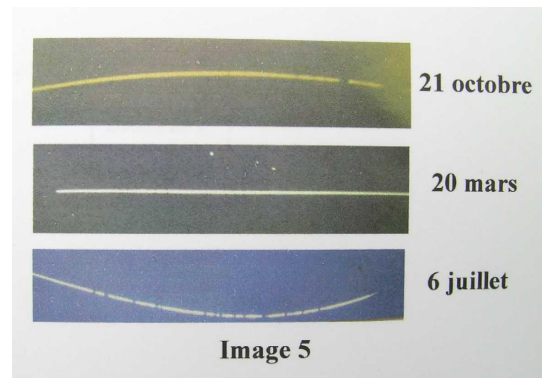


Image 5

## Détermination de la déclinaison

Le schéma ci-dessous réalisé dans le plan méridien, donc à midi solaire, montre qu'il est facile de calculer la déclinaison du Soleil.

$$\tan \delta = \frac{D - d}{2R}$$

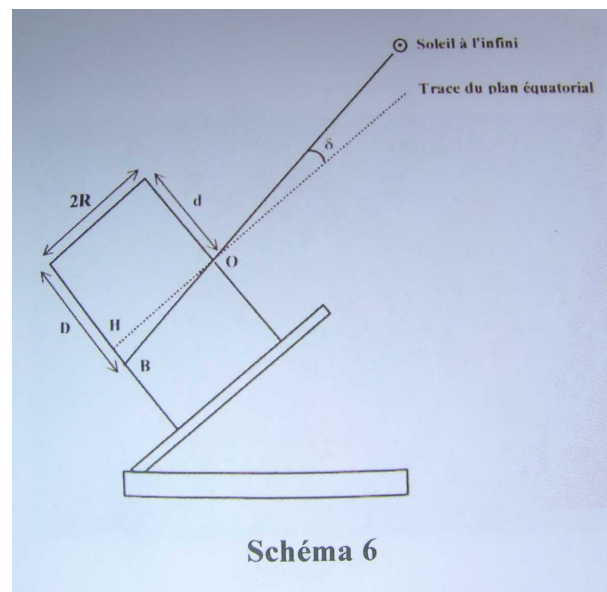


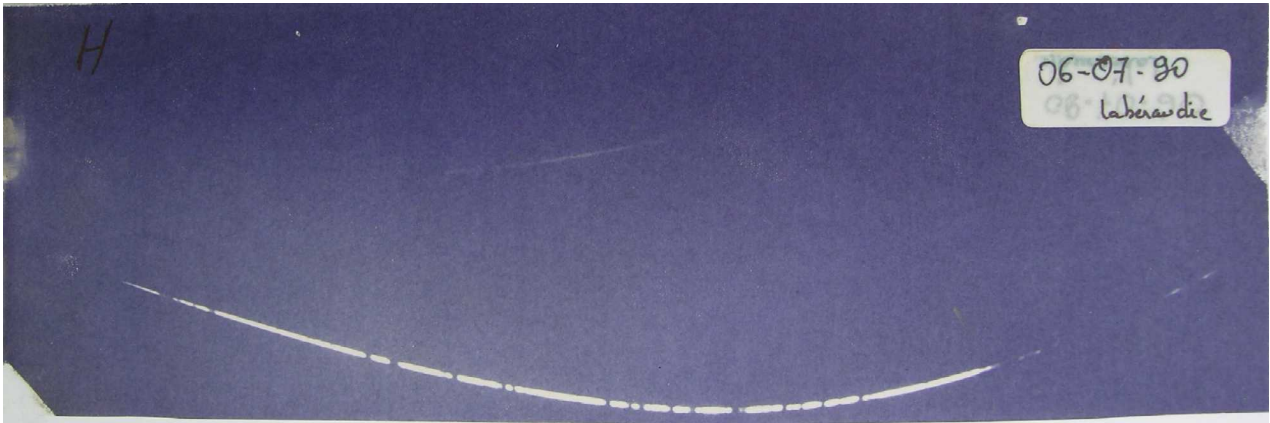
Schéma 6

**D** est la distance séparant la trace laissée par le soleil à midi solaire du fond de la boîte.

**d** est la distance entre le trou et le fond de la boîte (donnée par construction).

**2R** est le diamètre intérieur de la boîte (donné par construction).

Sur l'enregistrement (situé en haut de la page suivante), on constate qu'à midi solaire, la courbe présente un minimum. La mesure de **D** se fera à partir de ce point (milieu de l'épaisseur de la trace). Il suffit de tracer une droite parallèle à la tangente au minimum.



### Construction de l'héliographe

Il suffit de disposer d'une boîte de conserve cylindrique avec un couvercle opaque. Celui-ci sera fixé sur une planchette faisant un angle égal au complémentaire de la latitude du lieu.

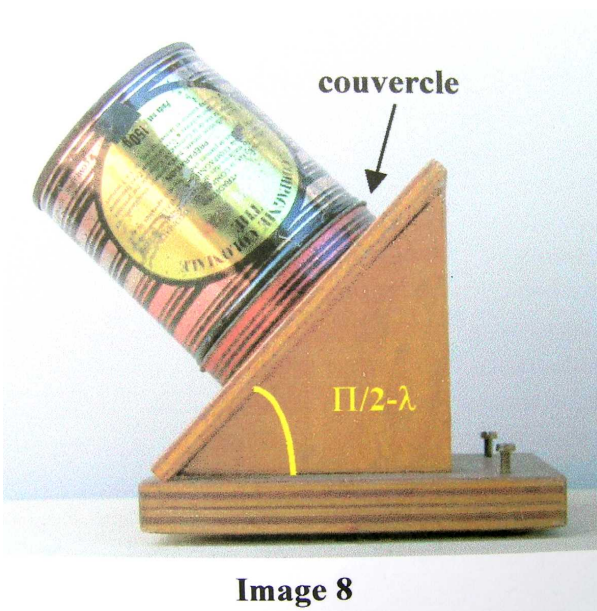


Image 8

Le trou doit faire moins d'un millimètre de diamètre. Il peut être réalisé à l'aide d'un foret ou de la pointe d'un clou, dans ce cas il faudra limer les aspérités à l'intérieur de la boîte.

Le papier sensible à la lumière sera placé à l'intérieur, à l'opposé du trou (image 9).

L'utilisation d'un papier se développant aux vapeurs d'ammoniac est plus avantageuse que celle du papier photo (manipulation dans une pénombre relative, prix de revient). Ces papiers se vendent sous différents noms : diazo, ozalide, photogray (tirage de plans d'architectes). En fin de journée, après enregistrement, il suffit de

retourner la boîte sur un récipient contenant de l'ammoniaque ou du coton imbibé d'ammoniaque. En moins d'une minute l'enregistrement est utilisable.



Image 9

### Conclusion

La précision sur la mesure est inférieure à 1°. Celle-ci dépend de divers facteurs :

- la mise en place convenable de la feuille de papier sensible dans la boîte (bien calée au fond),
- la mise en place de la boîte sur un plan horizontal,
- la réalisation de l'héliographe, angle complémentaire de la latitude.

Ce dernier point peut être amélioré en plaçant une pointe à l'avant et deux vis de réglage à l'arrière de la partie horizontale de l'héliographe comme sur l'image 8.

# AVEC NOS ELEVES

## Un naufrage pour un problème de longitude

Marie-Agnès Lahellec

**Résumé:** Voici encore un petit problème "clefs en main" pour la rentrée scolaire. De quoi rappeler aux élèves les dangers de l'ignorance quand on navigue. Ce texte avait été publié il y a sept ans dans les Cahiers Clairaut.

### Problème

Voici un texte tiré du livre « Les découvreurs » de Daniel Boorstin (Robert Laffont)

*En 1707, toute une flotte anglaise avait sombré sur les rochers des îles Scilly, à moins de quarante milles des côtes....À l'époque la plus glorieuse de la Royal Navy, la perte accidentelle et non au combat, de tant de marins si près de leur port d'attache était une grave humiliation.....Deux éminents mathématiciens déclarèrent publiquement que la catastrophe aurait pu être évitée si seulement les marins n'avaient pas été aussi ignorants de la longitude...Sous le choc des événements, le Parlement adopte en 1714 une loi offrant une récompense à quiconque découvrirait un moyen pour déterminer la longitude en mer. ....L'heureux gagnant en fut John Harrison ....*

*En 1761, son modèle d'horloge n°4 parut bien au point. Au bout d'un voyage de neuf semaines à la Jamaïque, l'horloge n'accusait que cinq secondes de retard, soit 1,25 minute de longitude, ce qui était bien en deçà des trente minutes maximales autorisées par le Parlement.*

1. Le mille marin est la distance séparant deux points d'un même méridien dont les verticales font un angle de  $1,0'$  entre elles.

Faites un schéma exprimant la définition. Donner la longueur du méridien terrestre en milles marins.

2. Le rayon de la Terre vaut  $6,4 \cdot 10^3$  km. Donner la valeur du mille marin en m.

En déduire la distance du lieu de naufrage aux côtes en km.

3. Expliquer comment une mesure de temps permet de déterminer une longitude et dire de quel temps il s'agit.

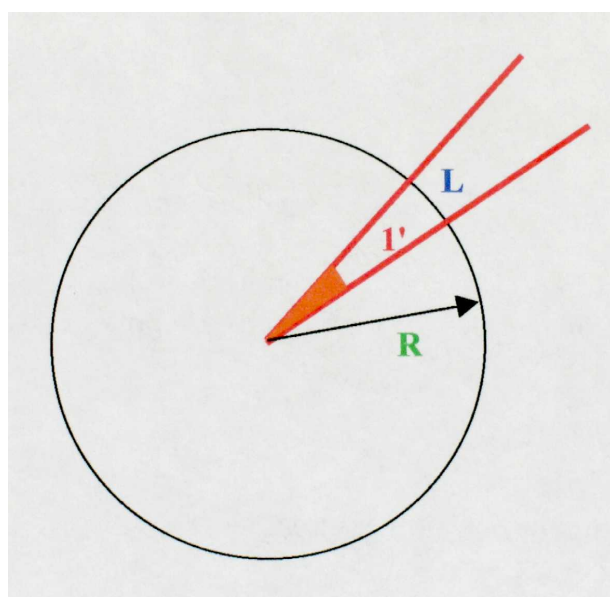
4. Vérifier l'assertion : "cinq secondes de retard, soit 1,25 minute de longitude".

5. Quelle erreur sur la position du bateau au bout de neuf semaines ces cinq secondes de retard induiraient-elles ?

### Corrigé

1. On représente un méridien terrestre.

Le mille marin est la longueur de l'arc intercepté par un angle au centre d'une minute, le schéma n'est pas du tout à l'échelle.



La longueur du méridien terrestre correspond à un angle au centre de  $360^\circ$  soit  $360 \times 60' = 21\,600'$

La longueur du méridien terrestre est donc  
 $L = 21\,600$  milles marins

2. La longueur du méridien terrestre :  $L = 2 \pi R$ .

$L = 4,02 \cdot 10^7$  m Donc **un mille marin** vaut  $4,02 \cdot 10^7 / 21\,600 = 1,86 \cdot 10^3$  m

Le naufrage a eu lieu à quarante milles des côtes soit à **74 km des côtes**.

3. On détermine l'heure de passage du Soleil au méridien du lieu où se trouve le bateau.

Si l'on a un "gardien du temps" c'est-à-dire une horloge qui conserve l'heure du méridien de Greenwich, on a la mesure du décalage horaire entre les deux méridiens et donc la longitude (1h de décalage horaire correspond à  $15^\circ$  de longitude).

Remarque : la détermination de la latitude ne posait pas de problème. On la calculait à partir de l'angle entre l'horizon et la direction du soleil au passage au méridien.

4. Faisons un tableau de correspondance

<b>temps</b>	60 min	60 s	une seconde	<b>5 secondes</b>
<b>longitude</b>	$15^\circ$	15'	$15/60 = 0,25'$	<b>1,25'</b>

5. On a une erreur de 1,25 mille marin sur la position du bateau soit 2,3 km.

C'est assez remarquable : en 9 semaines l'erreur de positionnement du bateau due au retard de l'horloge

est très faible. La précision donnée dans le texte concerne la route du bateau à l'équateur, car on suppose une incertitude de 5 secondes.

En effet, en supposant une recherche de position pour un parallèle donné, l'incertitude en distance dépend de la latitude par la formule suivante où  $\Delta\theta$  est l'erreur en longitude :

$$\Delta d = R_{\text{parallèle}} \Delta\theta \text{ (radian)}$$

$$\text{Avec } R_{\text{parallèle}} = R_T \cos(\text{latitude}).$$

### Notes :

1. L'orthodromie (de *ορθος*, droit et *δρομος*, course) est le terme de navigation pour ce que les géomètres appellent géodésiques (ligne de longueur minimale entre deux points) ; malheureusement on démontre qu'il n'existe aucune carte isométrique.

2. La loxodromie (*λοξος*, oblique) désigne une trajectoire à cap constant (ce qui présuppose une carte, c'est-à-dire sur la surface, un réseau de courbes (méridiens et parallèles)). Elle fut fort utilisée sur des cartes basées sur la projection de Mercator, car les loxodromies y sont représentées par des droites (cette projection est "conforme", elle conserve les angles).

3. Comme la Terre est plutôt un ellipsoïde qu'une sphère, la définition que l'on trouve pour le "mille marin" ou "nautique" est : 1' de longitude à la latitude  $45^\circ$ .



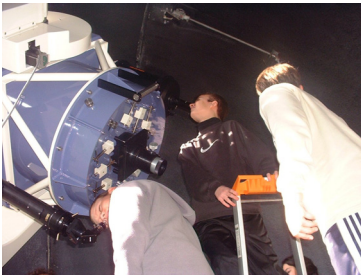
1) "Chef je crois qu'on est un peu trop près de la côte !" Photo G. Paturel





## Ils veulent toucher les étoiles, faisons-leur la courte-échelle ! Collège et Lycée de Nuit, une opération de Planète Sciences

Curieux de découvrir ce qui les entourait, fascinés sûrement déjà par les images d'autres mondes tapissés de couleurs impossibles sur Terre, huit élèves du Collège Dulcie September à Arcueil auraient bien voulu en savoir un peu plus. Ils ne s'attendaient peut-être pas dès le début d'année à vivre une telle expérience : passer plusieurs jours dans un observatoire pour réaliser une expérience qu'ils avaient mis plusieurs mois à préparer, peaufiner, formaliser. "Etudier l'évolution des taches et des protubérances solaires, leurs taille, mouvement, (...) Calculer la hauteur d'une montagne lunaire." Voici la mission qu'ils s'étaient fixée. Il ne leur a pas fallu moins de deux journées et une nuit en observatoire, au Centre d'Astronomie de Buthiers (77), aidés par des bénévoles férus d'astronomie, pour trouver une réponse à leurs questions !



**Planète Sciences**, association nationale de diffusion de la culture scientifique et technique qui organise l'opération "Collège et Lycée de Nuit" depuis 1996, avec le soutien du Ministère de la Recherche, du Ministère de la Jeunesse et des Sports et sous le parrainage de l'Institut National des Sciences de l'Univers, **accompagne ces groupes en proposant une formation pour les enseignants, un suivi régulier par des bénévoles de l'association** (étudiants scientifiques, chercheurs ou animateurs spécialisés, tous compétents en astronomie expérimentale et pour la mise en place de projets en milieu scolaire), **des outils techniques et pédagogiques**.

En collèges et lycées, des groupes s'organisent dans toute la France. Les élèves, progressivement, sont amenés vers un réel questionnement sur le ciel, et les enseignants qui les encadrent ne sont pas tous professeurs de sciences, certains même découvrent l'astronomie !

Pour les établissements franciliens ou proches de la région, Planète Sciences met à disposition un observatoire astronomique, le Centre d'Astronomie Jean-Marc Salomon, équipé du Télescope Jean-Marc Salomon, un télescope de 600mm de diamètre, et de nombreux autres instruments (coronographe, caméras, etc.). Situé dans la Base de Loisirs de Buthiers (77), au cœur de la forêt de Fontainebleau, il est facilement accessible et convient parfaitement à l'accueil de groupes. D'autres groupes ont déjà pu aller dans de nombreux observatoires, amateurs ou professionnels.



**Contact :** [yann.benetreau-dupin@planete-sciences.org](mailto:yann.benetreau-dupin@planete-sciences.org) secteur astronomie de Planète Sciences

16, place Jacques Brel 91130 Ris-Orangis 01 69 02 76 26

[www.planete-sciences.org](http://www.planete-sciences.org)

### Ciel & Espace : Un hors-série exceptionnel ! « Astronomes et philosophes »

Nous avons le plaisir de vous annoncer **en exclusivité** la parution de notre nouveau hors-série en édition limitée et pour deux mois en kiosque à partir de septembre.

*Astronomes et philosophes* : tel est le thème de ce numéro qui cherche à rapprocher dans une seule publication ce qui ne fait qu'un dans la réalité mais que la spécialisation des savoirs et l'affrontement stérile des disciplines séparent artificiellement. Vous pourrez ainsi trouver :



- un cahier spécial de 20 pages répertoriant toutes les découvertes depuis l'origine de l'astronomie. L'héliocentrisme de Copernic, les taches solaires de Galilée, les ellipses de Kepler, les galaxies de Hubble ou encore les trous noirs de Hawking : à chaque avancée une vérité s'est imposée qu'il faut clairement connaître et détacher du fond des connaissances provisoires.

- un cahier spécial de 20 pages constituant la bibliothèque idéale de l'astronome et du philosophe. Vous y retrouverez les ouvrages qui ont marqué l'histoire de la pensée philosophique et de notre rapport au ciel.

- un cahier spécial de 12 pages de photos perçant les secrets des plus belles images du ciel. Nous vous aidons dans cet album photo céleste avec des légendes à la fois précises scientifiquement, replacées historiquement dans leur contexte, sans oublier de raconter l'émotion humaine inmanquablement liée à leur révélation.

En vous souhaitant une bonne lecture !

# AVEC NOS ELEVES

## Température des atmosphères stellaires

Serge Latouche

Résumé : Voici un petit problème " clefs en main" pour un niveau de classe Terminale. Nous ne donnons pas de corrigé car la démarche est bien détaillée.

### Partie A

Un corps noir est un corps opaque non réfléchissant. La loi qui décrit l'intensité  $I$  du rayonnement émis par un corps noir de température absolue  $T$ , à chaque longueur d'onde  $\lambda$ , a été établie par Planck :

$$I(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1}$$

où  $h$  est la constante de Planck,  $k$  celle de Boltzmann et  $c$  la vitesse de la lumière dans le vide.

$\lambda$  est en m

$$h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

J est le joule, unité d'énergie ;

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$$

K est le kelvin, unité de température absolue,

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

(le zéro absolu correspondant à  $-273,15^\circ\text{C}$ )

1) Compléter le tableau ci-dessous : Pour  $T=3000$  K, 4500K et 6000 K, respectivement.

$\lambda$ (m)	$10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$
$I(\lambda) T=3000 \text{ K}$										
$I(\lambda) T=4500 \text{ K}$										
$I(\lambda) T=6000 \text{ K}$										

2) En utilisant le mode trace de votre calculatrice et un tableau de valeurs approprié, rechercher une approximation à  $10^{-8}$  près de la valeur  $\lambda_m$  de  $\lambda$  qui rend  $I$  maximale pour  $T=3000$  K,  $T=4500$  K et  $T=6000$  K. Puis représenter sur un même graphique l'intensité du rayonnement émis par un corps noir en fonction de la longueur d'onde et pour chacune des températures de 3000 K, 4500 K et 6000 K. En abscisse on prendra 1,5 cm pour  $\lambda = 10^{-7}$ , en ordonnée on prendra 3 cm pour  $10^{13}$ .

3) Calculer enfin dans les trois cas étudiés ci-dessus le produit  $\lambda_m \times T$ .

4) Que pouvez vous déduire de l'étude précédente ?

## Partie B

On se propose maintenant d'étudier quelques approximations de  $I$  :

1) Justifier que pour de grandes valeurs de  $\lambda$ , la loi de Planck peut être approchée par la loi de Rayleigh-Jeans, soit :  $I(\lambda) \approx \frac{2ckT}{\lambda^4}$ .

2) Dans la suite du problème on supposera  $\lambda T < 3 \times 10^{-3}$ . Quelle erreur relative commet-on, si l'on remplace  $I$  donné par :  $I(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1}$  par  $I(\lambda) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5 \times e^{\frac{hc}{k\lambda T}}}$  ?

C'est l'approximation de Wien, pour  $\lambda T$  « petit » :  $I(\lambda) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5 \times e^{\frac{hc}{k\lambda T}}}$ .

3) Etudier la fonction  $I$  définie sur l'intervalle  $]0; +\infty[$  par  $I(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \times e^{\frac{hc}{k\lambda T}}}$ .

4) On appelle  $\lambda_m$ , la valeur de  $\lambda$  qui correspond au maximum de  $I$  : évaluer le produit  $\lambda_m T$  et comparer le résultat obtenu avec celui de la partie A.

5) En fait, la loi de Wien dit que la longueur d'onde  $\lambda_m$  qui, dans le spectre d'un corps noir, correspond au maximum d'énergie, est donnée par :

$$\lambda_m \times T = 2898 \mu\text{m.K}.$$

L'erreur commise est-elle compatible avec le résultat de la question 2 ?

6) On assimilera le rayonnement d'une étoile à celui d'un corps noir.

a) L'étude du spectre de la lumière du *Soleil* montre que le maximum d'émission se trouve à la longueur d'onde  $\lambda_m = 0,460 \mu\text{m}$ . En déduire la température des gaz à la surface du *Soleil*.

b) *Bételgeuse*, étoile de la constellation d'*Orion*, apparaît pour un observateur terrestre de couleur rouge. Sachant que la longueur d'onde du rouge est supérieure à celle du jaune, comparer la température externe de *Bételgeuse* à celle du *Soleil*.

c) Contrôler vos résultats à l'aide d'un atlas astronomique ou de toute autre source.

### Complément possible (après le calcul intégral) :

L'énergie totale  $E$  émise par seconde par une étoile à la température  $T$  est donnée par :

$$E = \int_0^{+\infty} I(\lambda) d\lambda.$$

On calcule donc, pour  $0 < a < b$  :  $\int_a^b I(\lambda) d\lambda = C \int_a^b \frac{1}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{k\lambda T}} d\lambda$  puis on fait un passage à la limite.

A  $T$  fixé, cette intégrale s'écrit  $C \int_a^b \frac{1}{\lambda^5} e^{\frac{C'}{\lambda}} d\lambda$  (en posant  $C' = \frac{-hc}{kT}$ ) et peut se calculer par plusieurs

intégrations par parties successives, en posant pour la première intégration  $u(\lambda) = \frac{1}{\lambda^3}$  et  $v'(\lambda) = \frac{1}{\lambda^2} e^{\frac{C'}{\lambda}}$ , puis en renouvelant le même principe. ■

## Quelques activités autour de Jules Verne, en classe de seconde

Claude Brigand (sciences physiques) et Colette Le Lay (mathématiques)

claude.brigand@ac-nantes.fr

colette.le-lay@ac-nantes.fr

Lycée Gabriel Guist'hau - Nantes

**Résumé :** L'article propose trois petites activités de chimie, physique et mathématiques, menées dans une classe de seconde à partir de courts extraits de deux romans de Jules Verne : *Autour de la Lune* (1869) et *Sans dessus dessous* (1889).

Cette année 2005, la semaine de la francophonie, du 17 au 24 mars, proposait pour thème « Le français, langue de l'aventure scientifique » et invitait à faire le lien avec Jules Verne dont nous commémorons le centenaire de la disparition. Cette célébration revêt un éclat particulier à Nantes où il vécut ses vingt premières années. C'était une occasion à saisir pour proposer quelques activités pluridisciplinaires à notre classe de seconde. Nous n'envisagerons ici que ce qui concerne les sciences physiques et les mathématiques. Mais les professeurs de SVT, Français et Arts plastiques se sont également associés à cette semaine Jules Verne.

24 de nos 33 élèves suivent l'option Arts plastiques et envisagent, pour bon nombre d'entre eux, une poursuite d'études en Première littéraire. Les matières scientifiques ne suscitent pas naturellement leur enthousiasme. Partir d'extraits de romans nous semblait pouvoir favoriser leur intérêt pour des notions de physique, chimie ou mathématiques.

Ce travail a occupé environ une heure de cours et trois heures de travaux pratiques. Nous avons décidé de nous concentrer sur deux romans mettant en scène les mêmes personnages, ceux du Gun-Club de Baltimore. Dans *Autour de la Lune*<sup>1</sup> (1869), Barbicane et Nicholl, accompagnés de Michel Ardan, sont en orbite autour de notre satellite dans le projectile cylindro-conique envoyé par un gigantesque canon. Vingt ans plus tard, Barbicane, Nicholl et leur mathématicien Maston décident,

dans *Sans dessus dessous*<sup>2</sup>, de redresser l'axe de la Terre pour exploiter les mines du pôle et supprimer le « désagréable » phénomène des saisons.

L'introduction à l'étude s'est opérée par le biais d'un diaporama résumant les deux romans et présentant, à l'aide de quelques diapositives simples, les problèmes que la lecture des textes pouvait soulever (apesanteur, point neutre, vitesse de rotation, composition des vitesses). Un petit dispositif en lego, projetant une bille, permit de montrer le recul du canon au moment de l'envoi du boulet.

Chacune des heures de TP fut mise à profit pour résoudre un petit exercice présenté sur un document individuel introduit par un texte de Jules Verne :

- en chimie : la production de dioxygène à l'intérieur du projectile
- en physique : la pesanteur sur la Lune
- en mathématique : l'erreur de trois zéros et ses conséquences sur le redressement de l'axe terrestre.

Le bilan des activités est très positif. Les élèves ont apprécié de nous voir travailler ensemble. Ils se sont montrés actifs et curieux. Contrairement à d'autres séances, ils ne se sont pas laissés arrêter par les difficultés. Notre aide leur a parfois été indispensable. Mais finalement, nous avons effectué avec eux un « voyage dans les mondes connus et inconnus » ainsi que le souhaitait Jules Verne.

---

<sup>2</sup> Roman réédité en 2005 par Actes Sud – Ville de Nantes, ainsi que le manuscrit scientifique préparatoire *Le Titan moderne*, rédigé par l'ingénieur des Mines Albert Badoureau.

---

<sup>1</sup> Roman disponible en livre de poche.

## Activité de chimie à partir de *Autour de la Lune*

Objectifs : écriture et équilibre d'équation-bilan, calcul de masses molaires, de quantités de matière etc.

### Le texte de Jules Verne :

"Restait la question de l'air à l'intérieur du projectile. Là encore, toute sécurité. L'appareil Reiset et Regnaut, destiné à la production de l'oxygène, était alimenté pour deux mois de chlorate de potasse ... à cette température élevée (400 °C), le chlorate de potasse, se changeant en chlorure de potassium, abandonnait tout l'oxygène qu'il contenait. Or, que donnaient dix-huit livres de chlorate de potasse ? Les sept livres d'oxygène nécessaire à la consommation quotidienne des hôtes du projectile."

*Autour de la Lune (chapitre 3 - Où l'on s'installe), Jules Verne.*

### Le travail demandé aux élèves :

Dans ce texte, Jules Verne décrit la réaction chimique à l'origine de la formation du dioxygène nécessaire aux occupants du projectile: quels en sont le(s) réactif(s) et le(s) produit(s) ?

Le chlorate de potasse, appelé aujourd'hui chlorate de potassium, a pour formule  $KClO_3$ . L'ion chlorate a pour formule  $ClO_3^-$ . En déduire la formule de l'ion potassium. Justifier.

Le chlorure de potassium  $KCl$  est un composé ionique. Quels ions le constituent (noms et formules) ? Comment peut-on retrouver leurs formules à l'aide de la classification périodique ?

Ecrire l'équation-bilan équilibrée de la décomposition thermique du chlorate de potassium. Déterminer la masse molaire du chlorate de potassium  $KClO_3$ .

Calculer la quantité de matière de chlorate de potassium contenue dans dix-huit livres de ce corps (une livre correspond à 500 g).

Sachant que, d'après l'équation-bilan de la décomposition thermique du chlorate de potassium, une mole de chlorate de potassium produit 1,5 (ou  $3/2$ ) mole de dioxygène, quelle quantité de matière de dioxygène sera produite à partir des dix-huit livres de chlorate de potassium ?

Déterminer la masse molaire du dioxygène  $O_2$ . En déduire la masse en g de dioxygène produit. Convertir le résultat en kg puis en livres. Comparer à la valeur indiquée dans le texte.

Quel volume de dioxygène, dans les conditions ordinaires de température et de pression, sera libéré dans le projectile par la décomposition thermique de dix-huit livres de chlorate de potassium ?

Données :

- Masses molaires atomiques (en  $g \cdot mol^{-1}$ ) : K = 39,1 ; Cl = 35,5 ; O = 16,0.
- Volume molaire (conditions ordinaires de température et de pression) :  $24,0 L \cdot mol^{-1}$ .

## Activité de physique à partir de *Autour de la Lune*

Objectifs : utilisation de la loi de la gravitation universelle, de la relation entre masse et poids d'un corps ...

### Le texte de Jules Verne :

"Mais console-toi, Michel, reprit Barbicane, car si aucun astre n'existe d'où soient bannies les lois de la pesanteur, tu vas, du moins, en visiter un où la pesanteur est beaucoup moindre que sur la Terre.

- La Lune ?
- Oui, la Lune, à la surface de laquelle les objets pèsent six fois moins qu'à la surface de la Terre, phénomène très facile à constater.
- Et nous nous en apercevrons ? demanda Michel ?
- Evidemment, puisque deux cents kilogrammes n'en pèsent plus que trente à la surface de la Lune.
- Et notre force musculaire n'y diminuera pas ?
- Aucunement. Au lieu de t'élever à un mètre en sautant, tu t'élèveras à dix-huit pieds de hauteur ..."

*Autour de la Lune (chapitre 8 - A soixante dix-huit mille cent quatorze lieues), Jules Verne.*

### Le travail demandé aux élèves :

Par quelle relation peut-on calculer la valeur de la force d'attraction lunaire sur un objet de masse  $m$  à sa surface ? Calculer la valeur de cette force pour un

objet de masse  $m = 200 \text{ kg}$ . En déduire le poids de cet objet sur la Lune.

Quelle relation unit le poids d'un corps sur Terre et sa masse ? Utiliser cette relation pour déterminer la masse  $m'$  d'un objet ayant, sur Terre, un poids égal à celui de l'objet de masse  $m$  sur la Lune.

Données :

- Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.kg}^{-2}.\text{m}^2$  ;
- Masse de la Lune :  $m_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$  ;
- Rayon de la Lune :  $R_L = 1\,740 \text{ km}$  ;
- Valeur de la pesanteur sur Terre :  $g_T = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ .

## Activité mathématique autour de *Sans dessus dessous*

Objectifs : transformation de formules algébriques, calculs sur les puissances de 10, détermination de l'ordre de grandeur d'un résultat, influence d'une erreur d'unité...

### Les textes de Jules Verne :

« Déjà, chers souscripteurs, reprit le président Barbicane, lors du grand meeting qui célébra l'arrivée du Français Michel Ardan en Amérique, quelques mois avant notre départ pour la Lune... »

Et ce Yankee parlait aussi simplement de ce voyage que s'il eût été de Baltimore à New-York !

« ... J.-T. Maston s'était écrié : « Inventons des machines, trouvons un point d'appui et redressons l'axe de la Terre ! » Eh bien, vous tous qui m'écoutez, sachez-le donc !... Les machines sont inventées, le point d'appui est trouvé, et c'est au redressement de l'axe terrestre que nous allons appliquer nos efforts ! »

Ici, quelques minutes d'une stupéfaction qui, en France, se fût traduite par cette expression populaire mais juste : « Elle est raide, celle-là ! »

« Quoi ! ... Vous avez la prétention de redresser l'axe ? s'écria le major Donellan.

– Oui, monsieur, répondit le président Barbicane, ou plutôt, nous avons le moyen d'en créer un nouveau, sur lequel s'accomplira désormais la rotation diurne...

– Modifier la rotation diurne !... répéta le colonel Karkof, dont les yeux jetaient des éclairs.

– Absolument, et sans toucher à sa durée ! répondit le président Barbicane. Cette opération reportera le

Pôle actuel à peu près sur le soixante-septième parallèle, et, dans ces conditions, la Terre se comportera comme la planète Jupiter, dont l'axe est presque perpendiculaire au plan de son orbite. Or, ce déplacement de vingt-trois degrés vingt-huit minutes suffira pour que notre immeuble polaire reçoive une quantité de chaleur suffisante à fondre les glaces accumulées depuis des milliers de siècles ! »

Jules Verne, *Sans dessus dessous*, Hetzel, 1889, p. 141-143.

« Instantanément, par suite du choc combiné avec le mouvement diurne, un nouvel axe se formera, et, comme l'ancien axe se déplacera de  $23^{\circ}28'$ , d'après les résultats obtenus par J.-T. Maston, le nouvel axe sera perpendiculaire au plan de l'écliptique.

Maintenant, par quels points sortira le nouvel axe ? Le lieu du tir étant connu, c'est ce qu'il était facile de calculer, et c'est ce qui a été fait.

Au nord, l'extrémité du nouvel axe sera située entre le Groënland et la terre de Grinel, sur cette partie même de la mer de Baffin que coupe actuellement le Cercle polaire arctique. Au sud, ce sera sur la limite du Cercle antarctique, quelques degrés dans l'est de la terre Adélie. » (p. 232)

### Le travail demandé aux élèves

Soit  $m$ , la masse du boulet et  $v$ , sa vitesse. Soit  $\omega$ , la vitesse de rotation créée et  $\omega_0$ , la vitesse de rotation de la Terre. Soit  $M$ , la masse de la Terre et  $R$ , son rayon.

Alors les lois de la mécanique imposent :

$$\frac{2}{5}MR^2\omega = mRv$$

a) Déterminer  $\omega$ .

Grâce à la trigonométrie, on peut alors déterminer l'angle  $\alpha$

b) Donner la formule qui permet de le calculer

c) Faire l'application numérique :

$$R = 6400 \text{ km}, m = 18 \times 10^7 \text{ kg}, v = 2800 \text{ km / s}, \omega_0 = 7,3 \times 10^{-5} \text{ rad / s}$$

La Terre est assimilée à une sphère homogène de masse volumique  $5670 \text{ kg / m}^3$

Mais à la suite d'un événement décrit dans le roman, J.-T. Maston commet une erreur sur la circonférence terrestre. Il considère  $R = 6400 \text{ m}$ . Du coup, la masse  $M$  est modifiée.

d) Quel est alors l'ordre de grandeur de l'erreur commise sur  $\omega$  ?

e) En déduire la nouvelle valeur de  $\alpha$ . Conclure.

## Démonstration de la célèbre relation $E=mc^2$

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Dans ce numéro nous allons voir la démonstration de la célèbre relation prouvant l'équivalence entre la masse et l'énergie, déjà pressentie par plusieurs auteurs, en particulier pour l'origine

électromagnétique de la masse de l'électron (Kaufmann, 1901 ; Abraham, 1903). Voici ce qu'écrivait Poincaré en 1905 :

Je montre, par une application du principe de moindre action, que, dans ces conditions, la compensation est complète, si l'on suppose que l'inertie est un phénomène exclusivement électromagnétique, comme on l'admet généralement depuis l'expérience de Kaufmann, et qu'à part la pression constante dont je viens de parler et qui agit sur l'électron, toutes les forces sont d'origine électromagnétique. On a ainsi l'explication de l'impossibilité de montrer le mouvement absolu et de la contraction de tous les corps dans le sens du mouvement terrestre.

La première démonstration de l'inertie de l'énergie par Einstein est de 1905. La démonstration est plus complexe que celle que nous allons expliquer ici, publiée en 1946 sous le titre : "Une démonstration élémentaire de l'équivalence entre masse et énergie" (cf. Albert Einstein, Œuvres choisies, tome 2, Editions Seuil/CNRS).

La démonstration ne fait appel qu'à trois lois classiques : 1) la conservation de la quantité de mouvement 2) la pression de radiation (quantité de mouvement d'une onde électromagnétique) 3) l'aberration de la lumière (composition de la vitesse de la source et de la vitesse de la lumière).

Considérons un corps B, au repos par rapport à un référentiel  $K_0$ . Deux groupes d'onde lumineuse l'éclairent brièvement avec une énergie  $E/2$  chacune, de part et d'autre (voir schéma), de sorte que son immobilité n'est pas altérée par la quantité de mouvement  $E/2c$  fournie par chacune des deux sources.

Examinons B depuis un référentiel K, se déplaçant par rapport à  $K_0$  avec une vitesse  $v$ , perpendiculaire à la direction des deux sources S et S'. Les deux rayonnements ont, pour K, une direction qui fait un angle  $\alpha$  avec la direction SS'. La loi de l'aberration de la lumière nous dit qu'en première approximation :  $\alpha=v/c$ . Avant l'absorption

du rayonnement par B, la quantité de mouvement totale du système est :

$$Q_1 = Mv + \frac{E}{c} \sin \alpha \approx Mv + \frac{E}{c^2} v$$

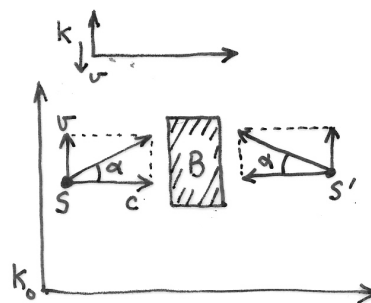
Après absorption du rayonnement par B, la masse est  $M'$ , en anticipant "le fait que la masse puisse augmenter lors de l'absorption" (sic). La quantité de mouvement est :

$$Q_2 = M'v$$

La conservation de la quantité de mouvement

$$Q_1 = Q_2 \text{ conduit à la relation : } M' - M = \frac{E}{c^2}.$$

Cette équation exprime la loi d'équivalence entre énergie et masse.



# EINSTEIN, au-delà du mythe...

Jean-Noël Terry

**Résumé** : 1905-2005, Albert Einstein est toujours médiatique. Articles, livres, émissions diverses vont célébrer le savant dont le portrait apparaît partout, du poster au tee-shirt en passant par la publicité. Ce modeste article ne se veut donc pas une énième biographie. Il s'agit d'éclairer diverses facettes de celui qu'on croit connaître, parfois en partant d'une idée reçue, en espérant que le lecteur découvrira ainsi un autre visage du savant mythique.

« Dans une période d'abondance de biens de consommation et de moyens de production comme n'en a connu aucune génération jusqu'ici, une grande part de l'humanité demeure dans le besoin ; la production et la consommation sont de plus en plus déséquilibrés et la confiance dans les institutions publiques est au plus bas... Ce n'est pas d'intelligence que nous manquons pour éradiquer le mal, mais d'un dévouement au bien commun, responsable et dénué d'égoïsme ». Ces propos sont-ils d'un « alter-mondialiste » ? C'est un extrait d'une allocution d'Albert Einstein en 1932 !!! Pas mal pour un savant vivant dans les équations... Nous aurons quelques autres surprises.

## Einstein était un mauvais élève.

Certes, à quatre ans, Einstein ne parlait pas, ce qui amena ses parents à consulter. Toute sa vie, il eut une élocution assez lente. Mais là finit la réalité et commence la légende !

Dès le primaire, à l'école catholique de Munich, sa mère écrivait : « Albert a eu ses notes hier ; il est de nouveau en tête de sa classe avec un carnet brillant ».

A 10 ans, au Leopold Gymnasium, il est excellent en mathématiques et en physique et en violon. Il a certes du mal à accepter le par-cœur et la discipline quasi militaire de l'époque. Il est curieux de tout et aime l'étude personnelle. Il rejette les langues mortes qu'il accuse de charger sa mémoire.

Il lit les ouvrages techniques de son père qui dirige une entreprise de production d'électricité, des ouvrages scientifiques divers apportés par un étudiant logé chez ses parents devenu ami de la famille Max Talmey. Ce dernier lui fera découvrir Kant.

Quand Einstein rata son premier examen d'entrée au Polytechnicum de Zurich, il avait seulement 16 ans ! Le professeur Weber, spécialiste d'électromagnétisme, lui proposa d'assister à son cours de physique, ce qui montre un certain intérêt pour cet élève.

Pendant son année de préparation à l'école cantonale d'Argovie, dont il garde, par contre, un bon souvenir, on a dit qu'il avait eu de mauvaises notes.

En fait, le système de notation, de 1 à 6 (la plus mauvaise), a changé en cours d'année : il ne faut donc pas se tromper d'interprétation. Il n'y a qu'en français où les résultats ne sont pas excellents.

Une fois entré, en 1896, au Polytechnicum, c'est vrai, de son propre aveu, il sèche les cours qui ne l'intéressent pas.

## Einstein et la musique.

La musique fut présente dans l'éducation d'Einstein : sa mère était une excellente pianiste. Il apprit le violon et manifesta des dons dans ce domaine. Il jouait des sonates de Mozart et Beethoven, sa mère accompagnant au piano.

A propos des sonates de Mozart, il écrit dans une lettre en 1940 : « Mon désir de reproduire ces gracieuses sonates au plus proche de l'esprit du compositeur m'obligea à perfectionner ma technique ; j'acquis cette maîtrise sans pratique systématique. Je suis persuadé que l'amour est meilleur professeur que l'obligation- en ce qui me concerne en tout cas. » (*Lettre à Philipp Franck*)

En 1912, il fait de même avec Paul Ehrenfest, entre deux discussions de physique théorique !

Il s'agit de plus qu'un passe-temps :

« Cher Ehrenfest,

J'ai acheté pour toi :

Un magnifique piano à queue (marque Hupfeld) au prix de 165000 marks, sans les frais de transport... C'est un instrument magnifique, au toucher très doux.

Deux violons qui n'existent pas encore, mais qui, une fois terminés, seront flambants neufs (chacun pour environ 2000 marks). J'en ai aussitôt commandé un pour moi aussi chez cet homme, véritable artiste en lutherie. J'ai déjà joué auparavant, et encore récemment, sur quelques-uns de ses violons ; et j'en suis vraiment enchanté. Il se met au travail ces jours-ci ; ils seront donc terminés



dans deux mois environ. Je ne sais pas s'il est très indiqué de les expédier. Le mieux serait que j'apporte les instruments moi-même, un au premier voyage, l'autre ensuite. Sinon, les confier à une autre personne se rendant en Hollande » (*lettre du 1<sup>er</sup> décembre 1919*).

« Pour les violons, ça avance lentement... Le problème, vient de ce que le vernis a besoin d'une année entière pour sécher complètement » (*lettre du 2 février 1920*).

« Enfin le violon est arrivé ! Comment est-il donc possible qu'il soit si abîmé ? On a dû le traiter de façon barbare. En tout cas, je l'avais assuré (pour 1000 marks environ). Va tout de suite chez un luthier pour faire évaluer le dommage et qu'on te rembourse. Comme je serai heureux quand tu auras essayé cet instrument, il est vraiment beau » (*lettre du 19 juillet 1920*).

Einstein a même joué dans un récital donné au profit de l'American Friends Service Committee for refugee children in England, en 1941.

### **Einstein, un théoricien dans la lune.**

Le 16 juin 1902, Einstein commence son travail au « Bureau fédéral de la propriété intellectuelle » de Berne (traduction littérale). Il y est engagé comme ingénieur de 3<sup>ème</sup> classe et doit examiner la pertinence des dossiers de demande de brevet d'invention. Le directeur, Friedrich Haller, lui déclare : « Quand vous examinez une demande, dites-vous que tout ce que raconte l'inventeur est faux... Il faut rester vigilant, garder un œil critique ». Ceci ne pouvait que convenir à Einstein !

C'est donc un travail pratique qui demande d'avoir « les pieds sur terre ». En 1955, Einstein écrit (*Œuvres choisies t1 ; Quanta, p16*) :

« La rédaction des actes de brevet était pour moi une véritable aubaine. Ce travail m'obligeait à exercer mon esprit dans des domaines variés tout en m'offrant largement de quoi stimuler ma réflexion en physique. Une activité professionnelle concrète est finalement une bénédiction pour quelqu'un comme moi. Une carrière académique condamne un jeune chercheur à une certaine production d'articles scientifiques. C'est là une incitation à la superficialité à laquelle, seuls les caractères bien trempés peuvent résister. »

Einstein a donc bien deux facettes. Il publie d'ailleurs des brevets.

En 1908, avec Paul Habicht, il réalise un voltmètre mesurant de très faibles tensions (quelques millièmes de volt), commercialisé en 1912.

En 1913, il conçoit une aile d'avion... mais peu réussie.

En 1925-1926, il crée, avec Léo Szilard, des modèles de réfrigérateurs destinés à éviter les risques d'asphyxie au gaz réfrigérant. Voulant éviter les pièces mécaniques en mouvement, ils en inventent trois, dont un à pompe électromagnétique complètement étanche. Côté réfrigérateur, ce fut un échec (crise de 29, matériel bruyant), mais cette pompe serait utilisée, aujourd'hui, pour transporter le sodium refroidissant certains réacteurs nucléaires.

Avec Szilard, Einstein dépose une quarantaine de brevets, dont l'un porte sur un appareil de correction auditive.

### **Einstein engagé ? Pacifiste ?**

Dès l'été 1914, il ne signe pas « L'appel au monde de la culture » dans lequel les intellectuels allemands justifiaient le militarisme allemand pour protéger la culture. Parmi les signataires, il y avait quelques scientifiques amis d'Einstein : Max Planck, Walther Nernst, Fritz Haber. Il signe, par contre, le contre-appel « Aux Européens » du physiologiste et pacifiste berlinois Georg Nicolai, ce qui montre déjà une indépendance d'esprit.

En automne 1914, il participe à la fondation de l'association pacifiste « Nouvelle patrie », surveillée par la police et interdite en février 1916. Einstein devient alors suspect. Il le restera toute sa vie. En janvier 1918, il est sur une liste de pacifistes de renom des environs de Berlin et il est suivi par un indicateur depuis 1916.

La République de Weimar ne changera rien. Sur son dossier de 1925, on porte qu'il est actif dans la Ligue des droits de l'homme, qu'il était membre du comité directeur de la « Société des amis de la nouvelle Russie » et faisait partie du conseil d'administration de « l'Aide internationale aux ouvriers ».

Einstein soutient les objecteurs de conscience et traite l'armée de « honte de la civilisation », la guerre de « meurtre odieux », et il s'oppose à l'armement de l'Allemagne.

Vers 1930, il songeait à quitter l'Allemagne, la prise de pouvoir par les nazis en 1933 le décide. Sa critique de l'attitude du régime vis-à-vis des juifs suscite de l'animosité à son encontre, y compris chez les scientifiques.

En 1933, lors d'un séjour professionnel, il reste aux USA et s'installe à Princeton. Il continue à user de son influence pour soutenir ses collègues expulsés et persécutés.

Devant la puissance allemande, il convient : « J'abhorre l'armée et toute manifestation de force. Je suis néanmoins convaincu qu'aujourd'hui ce moyen exécré représente la seule protection efficace ». (*été 1933, lettre à un pacifiste anglais*).

On lui reproche de « changer d'avis » ; il s'en explique ainsi le 20 juillet 1933 :

« Nous vivions il y a peu de temps encore dans une époque où l'on pouvait espérer combattre efficacement le militarisme en Europe par une résistance individuelle. Mais aujourd'hui, nous nous trouvons en présence d'une situation tout à fait différente. Au centre de l'Europe, il y a une puissance (l'Allemagne) qui, ouvertement, par tous les moyens, travaille à la guerre. Les pays romans, en particulier la Belgique et la France, se trouvent ainsi gravement en danger et sont absolument dépendants de leur armée. Pour la Belgique spécialement, il est clair que ce petit pays ne pourra jamais abuser de sa force militaire, mais qu'elle lui est vraiment nécessaire pour qu'il puisse prétendre exister. Représentez-vous la Belgique occupée par l'Allemagne d'aujourd'hui. Ce serait certainement encore pire qu'en 1914, et c'était déjà assez désastreux. C'est pourquoi je vous dis sans détour : dans les circonstances actuelles, citoyen belge, je ne refuserais pas le service militaire ; je l'accepterais de bon gré, avec le sentiment de contribuer à la sauvegarde de la civilisation européenne.

Cela ne signifie pas une renonciation de principe à la position que j'avais prise précédemment. Je n'ai pas d'espoir plus grand que de pouvoir retrouver des temps où le refus du service militaire sera à nouveau un moyen de lutte efficace au service du progrès de l'humanité. » (*Lettre à Alfred Nahon*)

Cela explique qu'en 1939, il se rallie à l'initiative de Szilard et d'Eugen Wigner, et qu'il signe la lettre au Président Roosevelt préconisant de mettre au point la bombe atomique avant les Allemands.

Einstein ne sera pas utilisé sur le projet Manhattan, le FBI lui reprochait sa bienveillance pour les vues de gauche, voire communistes. Ce même FBI construira de 1932 à 1955 un dossier de 1800 pages sur Einstein !

En fait, Einstein était très attaché à la défense des libertés des citoyens, et il fut solidaire des actes de désobéissance civile. Pendant le maccarthysme, il fut vivement attaqué par le droite qui voulait le déchoir de sa nationalité américaine obtenue le 1<sup>re</sup> octobre 1940, et même l'expulser !

En 1930, il se déclara solidaire du Front Populaire espagnol et soutint les organisations antifranquistes. Il prêta sa voix et son soutien au mouvement pour les droits civiques des Noirs (il qualifiait le racisme de la pire des maladies des USA) et, en 1946, lutta contre les lynchages dont furent victimes des Noirs, y compris anciens combattants.

En 1981, un fichier sur Einstein et Szilard fut obtenu par Gene Dannen par une requête officielle. Il s'agit d'un entretien du 1<sup>er</sup> novembre 1940. Einstein est invité à dire ce qu'il sait de Szilard, on sent qu'Einstein ne désire pas faire de confidences sur son ami et que la barrière de la langue (l'agent du FBI ne parle pas allemand), est bien pratique.

Le FBI chercha à le dénigrer en le faisant passer pour un agent soviétique, le cerveau d'un réseau d'organisation du Front Rouge !

Heureusement, Einstein était très populaire, et l'arrêter aurait été une anti-publicité. Signalons que Harlow Shapley, qui partageait bien des idéaux avec Einstein, eut droit aussi à la surveillance du FBI.

## **Einstein n'a rien trouvé les 40 dernières années de sa vie.**

Après 1905, puis 1916 (publication de la version complète de la relativité générale), 1919 avec la confirmation de la déviation des rayons du Soleil, 1921 le prix Nobel, il est de bon ton de dire qu'il ne se passe plus rien.

Effectivement Einstein tente d'unifier relativité et mécanique quantique. Entre 1920 et 1939, plus de 200 articles écrits par une centaine d'auteurs différents feront la même tentative... toujours d'actualité !

En voici pour preuve cet extrait de « Une brève histoire du temps » de Stephen Hawking :

« Aujourd'hui, les scientifiques décrivent l'Univers à l'aide de deux théories fondamentales : la théorie de la relativité générale et la mécanique quantique ; les deux grands exploits intellectuels de cette première moitié du siècle. Malheureusement ces deux théories sont incompatibles. Une grande part des efforts des physiciens actuels porte sur la recherche d'une théorie qui inclurait à la fois la gravitation et la théorie quantique. »

## **Einstein, un solitaire ?**

Oui, par certains points, dans ses recherches, ou dans son cheminement. Mais en fait, un ami qui aime partager, et un ami fidèle.

« J'ai vécu dans cette solitude qui est si pénible lorsque l'on est jeune mais si précieuse dans les années de maturité » (*Portraits and Self Portraits-1936*).

Il faut voir ici une réaction à l'exploitation médiatique de sa personne (voir : humour).

Il a été entouré d'amis avec lesquels il a correspondu toute sa vie quand l'histoire a entraîné

l'éloignement. Les archives de 40000 documents comportent une majorité de lettres traitant toutes sortes de sujets. (Sa secrétaire Helen Dukas a consacré 30 ans de sa vie- elle est morte en 1982 à Princeton- à recueillir les copies de lettres qu'Einstein avait envoyées.)

Sa correspondance avec Michele Besso a duré de 1903 à 1955 !

Celle avec Solovine, de 1906 à 1955. Sa dernière lettre est, d'ailleurs, pour aider Maurice Solovine à se faire soigner : « Le prix démesurément exagéré qu'on attache actuellement en mainte occasion à l'œuvre de ma vie a aussi ses côtés agréables. C'est ainsi, par exemple, qu'il a été mis à la disposition du Comité d'assistance aux savants réfugiés, qui a son siège ici, une certaine somme d'argent, dont l'emploi n'est pas soumis aux mêmes restrictions que les autres fonds de secours, mais est fait selon mon sentiment personnel. Or, je sais que vous êtes tourmenté par une maladie des yeux, très répandue à notre âge, qui rend votre activité fort pénible et qu'on peut faire disparaître par une opération très souvent pratiquée. Je ne peux imaginer un emploi plus digne de tels moyens que de les offrir à un homme comme vous, qui avez blanchi sous un labeur intellectuel incessant, afin de conserver votre capacité de travail. » (*Lettre du 27 février 1955*)

Autres amis : Marcel Grossmann (1878-1937) et Friedrich Adler (1879-1960) qui se désista en sa faveur pour le poste à l'Université de Zurich, pour le bien de la science, comme il le dit.

En dehors des amis proches, il y a les « bonnes relations » ; parmi elles :

Parmi les scientifiques, Einstein correspond avec Becquerel, E. Borel, S. Bose, L. Brillouin, L. de Broglie, E. Cartan, J. Hadamard, P. Langevin, A. Lichnerowicz, P. Painlevé, J. Perrin, R. Poincaré, Marie Curie, I. et F. Joliot-Curie...

Côté littérature et philosophie : H. Bergson, B. Brecht, S. Freud, M. Solovine, J. Isaac, R. Rolland, P. Valéry...

### **Einstein et les autres.**

Einstein a toujours usé de sa renommée pour aider les autres. Dès 1922, il envoie des autographes à Paul Painlevé, à sa demande, pour une vente de charité en faveur des enfants russes. Il fut un temps où il envoyait aux quémanteurs d'autographes, une carte imprimée portant « J'ai décidé de ne plus donner désormais d'autographes qu'aux personnes disposées à effectuer une modeste contribution à une cause charitable. » Lorsqu'Einstein avait reçu la souche du mandat, il envoyait l'autographe !! (Banesh Hoffmann).

Il appuie les demandes d'immigration aux USA, mais son influence a ses limites, surtout aux USA :

« Je vous envoie ci-joint mon affidavit, mais je tiens à préciser que mes parrainages ont sensiblement perdu de leur efficacité, pour cause d'inflation. J'espère toutefois que ce papier, même s'il ne s'avère pas efficace quant à son but véritable, pourra vous être quand même d'une quelconque utilité » (*à Harry Isay-19 octobre 1940*).

### **Einstein, un curieux de tout.**

Inutile de revenir sur l'engagement politique, humanitaire d'Einstein, ni sur le musicien. Mais Einstein s'intéressait vraiment à tout, au fonctionnement de l'économie, bref à la vie du monde et à sa culture. Voici quelques exemples :

En 1902, Maurice Solovine, philosophe, désirait prendre des leçons de physique. Il tombe sur une petite annonce d'Einstein proposant des cours particuliers à 3 francs (suisses) de l'heure. Les cours tourneront vite à la discussion philosophique, puis à la lecture et l'étude commune d'ouvrages divers : *l'Analyse des sensations* de Pearson, *la Mécanique* de Mach, *La logique* de Mill, *le traité de la nature humaine* de Spinoza, *La science et l'hypothèse* de Poincaré, mais aussi *Antigone* de Sophocle, *Andromaque* de Racine, les *Contes de Noël* de Dickens, *Don Quichotte*... Ils furent rejoints par Conrad Habicht. C'était « L'Académie Olympia de Berne », qui dura 3 ans, jusqu'au départ de Solovine pour ses études à l'Université de Lyon en novembre 1905.

Un autre exemple est sa correspondance avec Freud. En 1931, Einstein écrit à Freud pour l'inviter à former une communauté intellectuelle destinée à peser sur les décisions des hommes politiques. En 1932, il pose cette question : « Comment est-il possible que la masse se laisse enflammer jusqu'à la frénésie et au sacrifice par les moyens cités ? La seule réponse est celle-ci : il existe en l'homme un besoin de haine et de destruction. C'est là le point que seul le grand connaisseur des instincts humains peut éclairer. »

Freud répondit longuement. Remarquons sa conclusion : « Tout ce qui travaille au développement de la culture travaille aussi contre la guerre. »

Paroles, oh combien, d'actualité !

Et encore : « Je n'ai aucun don spécial : tout ce que j'ai, c'est que je suis passionnément curieux. » (*À Carl Seelig, biographe*)

## Einstein et la religion.

« C'est à mon arrivée en Allemagne, il y a 15 ans, que je découvris que je suis juif, et cette découverte, je la dois plus aux non-juifs qu'aux juifs. »

La religion juive n'intervient pas tant comme croyance, que comme défense du peuple juif : « Parler de foi est une manière de masquer que ce qui caractérise un Juif ce n'est pas sa foi, mais son appartenance à la nationalité juive. »

Remarquons encore la clairvoyance dans le jugement : « Si nous ne parvenons pas à trouver le chemin de la coopération honnête et à nous entendre avec les Arabes, c'est que nous n'aurons rien appris de notre épreuve doublement millénaire et nous desservirons le destin qui nous obsède ». C'est une lettre à Weizmann datée du 28 novembre 1929, n'est-elle pas très actuelle en 2005 ?

En fait, il s'agit plus chez Einstein de sentiment religieux que de religion structurée : « Il est certain que la conviction-apparentée au sentiment religieux-que le monde est rationnel, ou au moins intelligible, est à la base de tout travail scientifique un peu élaboré. Cette conviction constitue ma conception de Dieu. C'est celle de Spinoza. » (*Sur la vérité scientifique, 1929*)

C'est le Dieu des physiciens, évoqué lors du décès de son ami Michele Besso : « Voilà qu'il m'a de nouveau précédé de peu, en quittant ce monde étrange. Cela ne signifie rien. Pour nous physiciens croyants, cette séparation entre passé, présent et avenir, ne garde que la valeur d'une illusion, si tenace soit-elle. » (*Lettre au fils et à la sœur de Besso, le 21 mars 1955*)

## Einstein, un modeste.

Disons plutôt qu'il a conscience de ses limites dans la compréhension qu'il peut avoir du monde.

« Vous vous imaginez que je regarde l'œuvre de ma vie avec une calme satisfaction. Mais vu de près, il n'en est rien. Il n'y a pas un seul concept dont je sois convaincu qu'il résistera, et je me demande même si je suis sur la bonne voie. Mais les contemporains voient en moi à la fois un hérétique et un réactionnaire qui s'est, pour ainsi dire, survécu à lui-même. » (*Lettre à Solovine, le 28 mars 1949*)

« Aucun d'entre nous ne peut tirer vanité de son savoir ; car nous ne pourrions nous consacrer à l'étude si les autres ne travaillaient pas pour nous » (*Lettre à Painlevé le 8 mai 1922*)

## Einstein et l'humour.

L'humour n'est-il pas une façon de survivre ?  
Pour prendre du recul sur le « star system » :

Au début, avec le sourire, il sait qu'on « l'exhibe comme un bœuf primé » (*Lettre à Besso, mai 1921*), mais il en joue :

« 7 heures. Arrivée à New-York. Pire que tout ce que j'avais imaginé... Les reporters posèrent des questions délibérément stupides, auxquelles je répondis par des plaisanteries faciles qui déclenchèrent l'enthousiasme » (*Journal de voyage, le 11 décembre 1930*). On peut penser à la très célèbre photo :... A qui Einstein tire-t-il la langue ?

Avec le temps, le ton est plus grinçant :

« Je n'irai plus en Europe, pour ne pas devenir inutilement le centre d'une bouffonnerie (*mot à mot : comédie de singe*). » (*Lettre du 30 mars 1952 à Solovine*)

Einstein n'est pas dupe de l'effet « air du temps », dans un sens ou dans l'autre :

« Voici maintenant, pour divertir le lecteur, une manière d'application du principe de relativité. Aujourd'hui je suis en Allemagne un « savant allemand » et en Angleterre un « Juif suisse ». Il n'en est pas moins vrai que si un jour je devais être une brebis galeuse, je serais, à l'inverse, un « Juif suisse » pour les Allemands, et un « savant allemand » pour les Anglais ». C'est une mise au point envoyée au Times le 28 novembre 1919. La date est importante.

« Il faut être jeune et modelé sur un patron, si l'on ne veut pas mourir de faim. (*Cela a changé ?*) Moi, il est vrai, je suis hautement apprécié comme vieille pièce de musée estampillée et comme une curiosité, mais un tel dada passe à côté. Je travaille toujours avec entrain, soutenu par quelques collègues d'un courage audacieux. Je peux encore penser, mais la capacité de travail s'est relâchée. Et après : être mort n'est pas mal non plus. » (*Lettre à Solovine le 10 mai 1938*)

« Je suis devenu un vieil enfant solitaire, une sorte de figure antique, connu surtout pour ne pas porter de chaussettes, et que l'on exhibe dans certaines occasions. » (*Lettre à Mühsam du 15 juin 1942*)

# REMUE-MENINGES

Pourquoi le spectre d'une étoile donne des raies spectrales, alors que l'étoile ne couvre pas toute la largeur de la fente d'entrée du spectrographe ? On devrait n'obtenir qu'un spectre très mince, sur un fond sombre !



Solution page 40

# LECTURE POUR LA MARQUISE

## L'astrologie.

**Daniel Kunth et Philippe Zarka, « Que sais-je ? », PUF, ISBN 2-13-054833-4**

Tout ce que vous avez voulu savoir sur l'astrologie sans oser le demander... Dans le format familier de cette collection, voici un livre dense, au texte précis et riche d'information.

Si, personnellement, j'ai été moins intéressé par la partie décrivant les principes de base (les luminaires et les maisons ne sont pas ma passion), il faut reconnaître que tout est dit.

J'ai davantage apprécié l'histoire de l'astrologie occidentale, et, surtout, l'étude de ce phénomène de notre société. Si l'astrologie a été chassée de la faculté par Colbert en 1660, c'est pour revenir au XXIème siècle, parfois comme outil de recrutement, sous forme d'« AstroLoto », et plus sûrement commerciale (y compris pour l'Etat sous forme d'impôt : 1 milliard d'euros par an selon les auteurs).

La conclusion de l'ouvrage est claire : l'astrologie ne saurait être considérée comme une science : ni science exacte, ni science de l'homme, et n'est pas une religion ni une philosophie... mais un formidable outil de manipulation.

On saura gré aux auteurs, par ailleurs astronomes au CNRS, d'avoir conduit leur étude sans polémique et avec rigueur.

Laissons le mot de la fin à ce commentaire attribué à Voltaire : « Un astrologue ne saurait avoir le privilège de se tromper toujours » !

## Il était sept fois la révolution.

**Etienne Klein, éditions Flammarion, ISBN 2-08-210343-9**

Le premier tiers du 20ème siècle a été marqué par un foisonnement d'idées nouvelles en physique. Ainsi, c'est en 1930 que Hans Bethe, qui vient de mourir, propose le modèle de fusion nucléaire pour les étoiles.

Etienne Klein nous propose de rencontrer sept personnalités, parmi bien d'autres certes, mais il y avait un choix à faire en 233 pages.

Ce sont : George Gamow, alliant intelligence créatrice et goût du canular ; Albert Einstein, physicien mais aussi inventeur de brevets ; Paul Dirac, le laconique toujours en quête de belles et bonnes équations ; Ettore Majorana, brillant théoricien mystérieusement disparu dans la mer Tyrrhénienne ; Wolfgang Pauli, le boulimique complet ; Paul Ehrenfest que l'angoisse conduira au suicide ; Erwin Schrödinger, partagé entre la physique, la philosophie et les femmes.

Tout ce monde se connaissait, polémiqueait, s'écrivait...

Ce livre, riche en anecdotes, présente donc les différentes facettes des personnalités. Une époque

où, tout en transformant la physique, Ehrenfest au piano accompagnait Einstein au violon !

### **Einstein, un traître pour le FBI.**

**Fred Jerome, Editions Frison-Roche, ISBN 2-87671-467-1**

On a médiatisé Einstein, ne retenant souvent que la professeur Tournesol décoiffé et sans chaussettes. 2005 est l'année idéale pour affiner le portrait. Nul doute que le physicien et ses idées seront mis en lumière. Mais il ne faut pas oublier l'engagement dans le monde de celui qui a dit : « Ma vie est partagée entre les équations et la politique ».

Fred Jerome, journaliste scientifique américain, nous montre comment les différents engagements d'Einstein lui ont valu une surveillance du FBI... et un rapport de 1800 pages, aujourd'hui classifié et, donc, disponible.

Affilié à 32 organisations jugées subversives, car luttant pour la démocratie et les droits de tous les opprimés, Einstein a toujours montré cette indépendance d'esprit qui lui a tant réussi en physique.

Le livre n'est pas de lecture facile ; très documenté, il nous montre concrètement et presque au jour le jour, un aspect des Etats-Unis que nous connaissons souvent très mal : les jours sombres de l'après-guerre avec la discrimination, le lynchage, la « chasse aux sorcières » du maccarthysme, et les prises de position de nombreux intellectuels.

Il faut donc lire ces 314 pages et leurs abondantes notes éditées avec clarté. Ce livre nous permet d'approcher Einstein, hors de la physique !

### **L'image du monde de Newton à Einstein.**

**Arkan Simaan, éd. Vuibert-Adapt, ISBN 2-7117-5379-4**

Suite logique à l'ouvrage paru en 1998 : « L'image du monde des Babyloniens à Newton », ce livre a pour projet, comme le dit l'auteur, « d'être une description, pour des non-scientifiques, du changement intervenu dans la perception de l'Univers depuis Newton. ».

Inévitablement l'astronomie reçoit une grande part, mais aussi les cosmogonies (Buffon, Kant), la naissance de la spectroscopie, l'évolution...

Il s'agit donc d'une présentation claire de l'évolution des idées, sans faire l'impasse sur celles qui ne sont pas dans la ligne orthodoxe (celles de Fred Hoyle, Jean-Claude Pecker, Halton Arp, par exemple).

Des biographies s'intercalent dans le texte, en encadré, donc ne gênant en rien la lecture, mais permettant au contraire de revenir ensuite sur les personnes sans rompre le fil des idées.

Une biographie commentée invite à prolonger ces brèves rencontres. Les Cahiers Clairaut y sont d'ailleurs présents, mais même sans cela, nous aurions recommandé ce livre !

### **L'empire du temps.**

**Peter Galison, éditions Robert Laffont, ISBN 2-221-10222-3**

Au 19<sup>ème</sup> siècle, il devint indispensable d'harmoniser, mondialement, un certain nombre des unités et conventions qui régissaient les échanges, et en particulier les transports.

Le plus facile (?) fut de conclure, en 1875, la « Convention du mètre » en enfermant les prototypes du mètre et du kilogramme. (En fait, rien ne fut simple. Les ingénieurs français et les métallurgistes britanniques s'acharnèrent pendant 14 ans pour mettre au point l'alliage iridium-platine, et nous passons sur les difficultés pour fabriquer des sosies parfaits des étalons !).

Les vrais ennuis commencèrent avec la synchronisation des horloges. Dès 1875 encore, Le Verrier proposa de normaliser et d'unifier l'heure parisienne par l'électricité. (Paris constitua une « Commission des horloges ». Les Etats-Unis devaient traiter, eux, le problème de trains traversant un continent !)

Le choix du méridien d'origine provoqua de longues polémiques, jusqu'au ralliement de la France en 1911. De même, la décimalisation du temps, déjà proposée en 1793, revint dans les débats, ainsi qu'une proposition de graduer la circonférence en 240 degrés pour « coller » aux heures.

Mais le système CGS ne datait que de 1881, et il aurait fallu assumer le coût d'un renouvellement des cartes, des instruments...

Ce sont donc toutes ces péripéties que Peter Galison nous raconte en détail (l'heure et les chemins de fer aux Etats-Unis étant même presque trop détaillés pour nous).

C'est l'occasion de faire un portrait de Poincaré, puis d'Einstein (chronologie que ne respecte pas, curieusement, la couverture de l'ouvrage). La présentation de Poincaré est particulièrement intéressante. On le découvre enquêtant sur un coup de grisou à la mine de Magny en 1879, démontrant qu'un texte manuscrit est attribué à tort à Dreyfus, ou découvrant, un peu malgré lui, l'instabilité dans le problème des 3 corps.

Certains veulent voir en Poincaré le vrai auteur de la relativité. Peter Galison montre qu'il n'en est rien. Ainsi Poincaré conservait l'éther en 1909, Einstein le rejetait dès 1901. La bonne conclusion appartient à l'auteur : « Il importe bien plus de situer l'un et l'autre aux deux points nodaux de la coordination horaire au tournant du siècle ».

Vous avez compris que cet ouvrage est exigeant (295 pages denses, hors les notes), mais

qu'il est intéressant de suivre le chemin parcouru par deux grands esprits, de la synchronisation des horloges et de la lecture des cartes marines à une nouvelle vision de l'espace et du temps.

J.-N. Terry ■

## LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

### Un flash dans la nuit ...

Le 27 décembre 2004, les détecteurs  $\gamma$  ont observé le flash en rayons  $\gamma$  le plus brillant jamais vu, et qui a saturé la plupart des détecteurs. Les astronomes estiment qu'une énergie comparable à celle libérée par le Soleil pendant 250000 ans a été émise ... pendant 0,2s seulement ! Deux événements de même nature avaient été observés dans le passé (en 1979 et 1998), mais ils étaient au moins 100 fois plus faibles.

Quel type d'objet peut libérer une telle quantité d'énergie ? La source de ce flash, baptisée SGR 1806-20 (SGR signifie « Soft  $\gamma$ -ray Repeater »), située dans la direction du Sagittaire, serait située à environ 15 kiloparsec (près de 50000 années-lumière). Il s'agit d'une « magnétar », c'est à dire une jeune étoile à neutrons, très fortement magnétisée. Le champ magnétique serait en effet  $10^{15}$  fois plus intense que le champ magnétique terrestre de surface ! Ce flash particulièrement intense a été suivi par une émission en rayons X et radio pendant plusieurs jours, signe d'une nébuleuse en expansion.

La physique sous-jacente à ce genre de phénomène est très mal comprise, étant donné le peu d'objets de ce type observés jusqu'alors. Dans le cas de SGR 1806-20, même la distance est sujette à caution. Certains astronomes estiment qu'il serait à moins de 10 kiloparsec, ce qui impliquerait que le phénomène est intrinsèquement moins énergétique (la luminosité estimée varie comme le carré de la distance supposée).

Il est donc essentiel de recenser un grand nombre de phénomènes de ce type. Ce sera la mission du satellite Swift, qui sera en mesure de détecter ce

genre d'événements dans des galaxies lointaines. L'astronomie  $\gamma$  en est encore à ses balbutiements ...

### Première image d'une planète extrasolaire !

Si des planètes extrasolaires sont détectées depuis 10 ans (plus de 140 sont connues à ce jour, toutes mises en évidence par observation du mouvement de l'étoile autour du centre de gravité du système étoile - planète), leur observation directe est impossible avec les techniques actuelles dans la plupart des cas, étant donné les contrastes de luminosité : Jupiter est un milliard de fois moins lumineux que le Soleil ! Une exception réside dans le cas des étoiles jeunes : les planètes sont alors plus chaudes, et donc plus brillantes. Leur étude est particulièrement importante parce qu'elle permet d'étudier la jeunesse du Système Solaire. En 2004, l'observation d'une planète géante gazeuse (environ 5 fois la masse de Jupiter) autour d'une naine brune (étoile « ratée », de faible masse) avait été annoncée, mais cette découverte avait suscité des doutes. En février et mars 2005, une équipe d'astronomes, conduite par G. Chauvin, de l'Observatoire Européen Austral, a réalisé de nouvelles observations avec le coronographe NACO du Very Large Telescope au Chili. Ils ont ainsi pu confirmer qu'il s'agit bien d'une planète en orbite, à une distance d'environ 2 fois la distance Soleil - Neptune de son étoile. Deux autres systèmes similaires ont également été observés. Ces découvertes constituent un pas essentiel vers la compréhension de la nature de ces planètes extrasolaires ... en attendant la détection de planètes de type terrestre !

## La limite supérieure de la masse des étoiles

Les étoiles ont une masse minimum bien établie, en deçà de laquelle la densité et la température au centre sont insuffisantes pour amorcer les réactions thermonucléaires qui vont maintenir l'équilibre de l'astre. Cette masse limite vaut 0,072 masses solaires. Mais y a-t-il une limite supérieure ? Plus les étoiles sont massives, plus elles sont lumineuses et plus leur durée de vie est courte. Surtout, la pression exercée par ce rayonnement peut surpasser la gravité et rendre l'étoile instable. Ce phénomène est cependant difficile à quantifier, et l'une des conséquences de ce problème est notre mauvaise compréhension de la formation des étoiles les plus massives (au-delà de 10 fois la masse du Soleil). Ce qui n'empêche pas les théoriciens de construire des

modèles d'évolution pour des étoiles de 1000 masses solaires ...

En étudiant la population d'un amas massif d'étoiles jeunes (Arches cluster) à partir d'observations infrarouges obtenues avec le Télescope Spatial Hubble, D. Figer (Space Telescope Science Institute, Baltimore) a montré qu'aucune étoile plus massive que 150 masses solaires n'existe dans cet amas. Cette limite est d'autant plus remarquable qu'elle est identique à celle établie pour l'amas massif R136 du Grand Nuage de Magellan. Or cette galaxie est trois fois plus pauvre en éléments lourds que notre Galaxie, alors le mécanisme généralement invoqué pour expliquer l'existence d'une limite supérieure (la pression du rayonnement) dépend de la quantité d'éléments lourds. L'explication de cette limite resterait donc à établir ...

Eric Josselin



# LA VIE ASSOCIATIVE

## Une disparition tragique

Nous commençons cette rubrique par l'annonce d'une triste nouvelle. Beaucoup d'entre-vous l'ont connu, Jean-Pierre Semerjian est mort le 26 juillet dernier, d'une tumeur fulgurante. Nous partageons la peine de Claudine, son épouse. Ils animaient tous deux des ateliers et GT en EEA.

## Préparation de la prochaine AG

Notre prochaine Assemblée Générale se tiendra à Rouen, le dimanche 20 novembre 2005. Ce sera une bonne occasion de découvrir les activités astro-pédagogiques de cette région de France. Venez nombreux ! La veille se tiendra la réunion du Conseil d'Administration du CLEA.

## Ouverture du site CLE@.

Dans le cadre de l'opération Sciences à L'Ecole, le CLEA a créé un site qui devrait devenir le nouveau centre d'hébergement des textes et travaux pratiques de notre Association, en complément des Cahiers Clairaut. Allez visiter le site et faites-nous part de vos commentaires pour améliorer la qualité des informations. N'hésitez pas, au besoin à proposer des textes pour enrichir le site. Une bonne formule

est de publier un article dans les Cahiers Clairaut pour que nous puissions l'adapter ensuite au site Internet. Nous ne vous avons pas encore donné l'adresse. La voici :

[www.ac-nice.fr/clea/lunap](http://www.ac-nice.fr/clea/lunap)

## Observations en cours

Nous vous rappelons deux actions entreprises :

D'abord, le suivi de la rétrogradation de Mars : en effet, la planète Mars va commencer une de ses boucles que B. Grauss, F. Billiard et F. Berthomieu décrivaient dans le Cahier précédent. Les observations devraient commencer dès le mois de Septembre. A vos télescopes ! Comme disent les gens avertis.

Par ailleurs, vous avez tous noté qu'il va y avoir une éclipse partielle de Soleil le 3 octobre 2005 vers 10h30. Pierre Causeret dans un précédent numéro nous a donné toutes les informations pour exploiter cet événement afin de calculer la distance Terre Lune. Nous espérons qu'il y aura une forte mobilisation, comme ce fut le cas pour le transit de Vénus.



## 9<sup>ème</sup> école d'été de L'EAAE

Du 7 au 14 août 2005 a eu lieu à Skara, près de Göteborg en Suède, la 9<sup>ème</sup> école d'été de l'EAAE (European Association for Astronomy Education). Dans l'ambiance sympathique d'une auberge accueillant les familles et les groupes, 50 participants venus de 15 pays d'Europe ont pu suivre, en langue anglaise, 2 conférences générales et 14 ateliers dans l'esprit du CLEA.



La météo n'a permis de ne faire qu'une observation qui a été très réussie car le ciel était très pur. Vers 23h, la nuit était suffisamment noire pour observer les constellations circumpolaires très hautes dans le ciel (Skara est à 58° de latitude nord), la galaxie d'Andromède très nette aux jumelles et de nombreuses étoiles doubles, objets Messier grâce à deux télescopes installés à l'écart des rares lumières d'une campagne verdoyante.

En 2006 aura lieu du 2 au 8 juillet 2006 la 10<sup>ème</sup> Ecole d'été de l'EAAE aux Iles Canaries. Le prochain Cahier Clairaut et la prochaine AG du CLEA permettront de donner plus d'informations sur l'EAAE en général, ses écoles d'été en particulier.

**Charles-Henri Eyraud**

## La n<sup>ème</sup> école d'été du CLEA

Nous ne comptons plus les années (la première école d'été du CLEA a eu lieu en 1978), mais l'école d'été de cette année, qui s'est déroulée au col Bayard, du 19 au 26 août, a été une réussite, sous la direction de J. Ripert. Nous avons eu des exposés remarquables par des chercheurs réputés : C. Ferrari et E. Josselin, sur les observations récentes de la mission Huyghens-Cassini, ainsi que sur la recherche des exoplanètes et de la vie extraterrestre (exobiologie).



Les exposés généraux et les travaux dirigés n'ont pas été oubliés, ainsi que l'initiation aux nouvelles techniques d'observation d'amateurs (webcam + logiciel de traitement d'image). Le temps n'a malheureusement pas permis de faire beaucoup d'observation. Mais ce n'est que partie remise !

**GP**

# COURRIER DES LECTEURS

Date : 8 mai 2005 20:02:40

Bonjour,

Voici une bien modeste contribution à la proposition faite dans le courrier des lecteurs du n° 109 des Cahiers. Cette "stèle méridienne" se situe sur la N 152, entre Malessherbes et Pithiviers (45 Loiret)... Bien visible au bord de la route, elle est certainement aussi bien connue et répertoriée (surtout depuis le tracé de la "méridienne verte"). Je ne sais pas précisément par qui et quand elle a été érigée (est-ce par Cassini lui-même ?) mais je veux bien enquêter à ce sujet. Ses coordonnées (d'après la carte IGN) :

48° 14' 42" N

2° 20' 12" E (sur le méridien de l'Observatoire de Paris, bien sûr ...)

Altitude : 134 m

Sur le médaillon, on lit : "Mériidienne de l'Observatoire de Paris Etablie par Cassini 1748"

Pour ne pas encombrer vos boîtes aux lettres, j'ai comprimé très fortement les photos jointes, au détriment de la qualité. Si les originaux (2 Mo chaque) vous intéressent, je peux vous les transmettre. Bonjour au passage à toute l'équipe des astronomes d'Orsay, que je n'ai pas vus depuis bien longtemps, mais qui sont pour une très grande part à l'origine de mon intérêt très prononcé pour l'astronomie.

J.-M. Vienney



Merci à J.-M. Vienney qui contribue ainsi à la collection des bornes méridiennes. J'en profite pour signaler que dans un quartier de Charbonnières-les-bains, près de Lyon il y a une voie qui s'appelle : "Chemin de la halte du méridien". Est-ce qu'il y a un rapport avec la méridienne qui nous occupe ? Si vous avez des informations, merci de nous les communiquer.

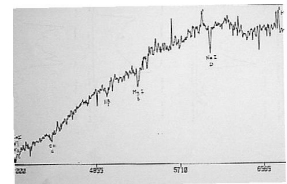
## Liste de diffusion

Les adhérents qui souhaitent être inscrits peuvent envoyer un message à : [jripert@ac-toulouse.fr](mailto:jripert@ac-toulouse.fr). Ils recevront en retour un fichier d'aide pour ouvrir un compte. N'hésitez pas, j'attends vos messages.

**Jean Ripert**, secrétaire du CLEA

## Solution du "remue-méninges" :

Effectivement, le spectre devrait être très "fin", puisque la fente d'entrée du spectrographe n'est éclairée que sur une très faible hauteur. En pratique, l'image de l'étoile est régulièrement déplacée le long de la fente du spectrographe, pendant toute la durée de la pose. On obtient ainsi un élargissement du spectre et les "raies" spectrales sont bien visibles. Cette méthode d'observation n'est plus utilisée par les astronomes. Aujourd'hui, les spectres sont obtenus électroniquement sur quelques pixels de hauteur. Ils donnent directement l'intensité en fonction de la longueur d'onde (voir ci-contre). L'exploitation est bien plus facile, puisque l'information est directement accessible de manière numérique.



**G.P.**

## Articles à venir

Cours élémentaire VIII ; Pendule de Foucault en carton ; La distance de la galaxie M31 ; Les étoiles variables ; Mesure absolue de l'attraction terrestre par interférométrie atomique. Les ondes gravitationnelles. La méthode de Romer vue comme un effet Doppler-Fizeau. La loi de Benford .

Remerciements: Nous remercions J.N. Terry et Marie-Agnès Terry pour la relecture de ce Cahier, ainsi que Chantal Petit pour son assistance.

## Les fiches pédagogiques du CLEA

<b>HS1</b> L'astronomie à l'école élémentaire	10 €
<b>HS2</b> La Lune, niveau "collège"	10 €
<b>HS3</b> Le temps, les constellations, niveau "lycée"	10 €
<b>HS4</b> Astronomie en quatrième	10 €
<b>HS5</b> Gravitation et lumière, niveau "terminale"	12 €
<b>HS6</b> L'âge de la Nébuleuse du Crabe, niveau "lycée"	
4 diapositives et 12 jeux de 2 photographies	16 €
<b>HS7</b> Etude du spectre du Soleil	8 €
<b>HS8</b> Etoiles variables	12 €
<b>HS9</b> Mathématiques et Astronomie	12 €

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

## Documents édités par le CLEA

<b>Transparents animés pour rétroprojecteurs</b>	8 €
<b>T1</b> le Transsolute (phases de la Lune et éclipses)	
<b>T2</b> Les fuseaux horaires	
<b>Filtres colorés</b>	11 €
Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux	
<b>CD ROM CLEA</b>	8 €
Astronomie et Astrophysique Programme de seconde, collège, TPE	
<b>CD ROM Collection des Cahiers Clairaut</b>	30 €
du numéro 1 au numéro 108 avec index de recherche	
<b>Documents photographiques CLEA-Belin</b>	5 €
20 exemplaires des 8 documents (phases de la Lune spectres de Rigel, Saturne, Arcturus, 69 Pisces, etc)	

# Publications du CLEA

Les publications ne peuvent être vendues qu'aux adhérents du CLEA (loi de 1901). Prix franco de port.  
Toute commande de documents est à envoyer à :

**CLEA - Laboratoire d'Astronomie, Bât. 470 – Université Paris Sud – 91405 Orsay cedex**

En joignant un chèque à l'ordre du CLEA.

## Fascicules pour la formation des maîtres en astronomie

<b>F1</b> L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	7 €
<b>F2</b> Le mouvement des astres	8 €
<b>F3</b> La lumière messagère des astres	9 €
<b>F4</b> Naissance, vie et mort des étoiles	10 €
<b>F6</b> Univers extragalactique et cosmologie	9 €
<b>F7</b> Une étape de la physique, la relativité restreinte	16 €
<b>F8</b> Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	10 €
<b>F9</b> Le système solaire	14 €
<b>F10</b> La Lune	10 €
<b>F11</b> La Terre et le Soleil	12 €
<b>F12</b> Simulation et astronomie sur ordinateur	8 €

## Cours photocopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université Paris XI Orsay

<b>P1</b> Astrophysique générale	10 €
<b>P2</b> Processus de rayonnement	5 €
<b>P3</b> Structure interne et évolution des étoiles	5 €
<b>P4</b> Astrophysique solaire	5 €

## Diapositives

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

<b>D1</b> Les phénomènes lumineux	
<b>D2</b> Les phases de la Lune	
<b>D3</b> Les astres se lèvent aussi	
<b>D4</b> Initiation aux constellations	
<b>D5</b> Rétrogradation de Mars	
<b>D6</b> Une expérience pour illustrer les saisons (série de 8 vues)	5 €
<b>D7</b> Taches solaires et rotation du Soleil	
<b>D8</b> Comètes	

## CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2004

Adhésion au CLEA pour 2005	5 €
Abonnement aux <b>CAHIERS CLAIRAUT</b> n° 109 à 112	25 €
<i>L'adhésion est indispensable pour tout achat de documents y compris l'abonnement aux Cahiers Clairaut</i>	
Le numéro des Cahiers Clairaut	7 €
COLLECTIONS DES <b>CAHIERS CLAIRAUT</b> des années antérieures :	
. du début (1978) à 1997	14 €/an
. à partir de 1998	17 €/an
COLLECTION <b>COMPLETE DES CAHIERS CLAIRAUT</b> SUR CD-ROM du n° 1 au n° 108	30 €

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

### CLEA

Laboratoire d'astronomie, bât. 470

Université de Paris Sud, 91405 ORSAY cedex

Tél./fax : 01 69 15 63 80

Adresse électronique : [clea.astro@astro.u-psud.fr](mailto:clea.astro@astro.u-psud.fr)

Adresse du site du CLEA : [www.ac-nice.fr/clea](http://www.ac-nice.fr/clea)

Trois livrets (40 pages en quadrichromie), 1CD et 1 DVD en exclusivité pour le **CLEA** :

- Livrets "Terre, Planète à Protéger" (par J. diMeglio, géophysicienne) et "L'univers astronomique" (par A. Acker et J.C. Pecker, astrophysiciens) – Format A5 – Prix unitaire = 1,2 € HT
  - Livret "La Terre et son Univers en 7 animations" (par M. Dumas) – A4 – Prix unit = 2,5 € HT
- **Offre spéciale = 36 € pour 10 de chacun des livrets (30 en tout) soit 1,2 € HT par livret**
- CD "Terre, planète à protéger" (avec animation sonores, vidéos et images) pour 8 € HT
  - DVD "40 ans de l'ESO" (d'après un film de 52 minutes) pour le prix exceptionnel de 4 € HT

(+ TVA = 5,5 %). Merci de vous adresser à Laurence DEMOND, APLF – Observatoire de Strasbourg  
11, rue de l'université – 67000 Strasbourg (Fax 03 90 24 24 17) e-mail : [aplf@astro.u-strasbg.fr](mailto:aplf@astro.u-strasbg.fr)

Directeur de la Publication : Georges Paturel  
Imprimerie Haugel, 92240 Malakoff

dépôt légal : 1er trimestre 1979  
numéro d'inscription CCPPAP : 61660  
prix au numéro : 7 €