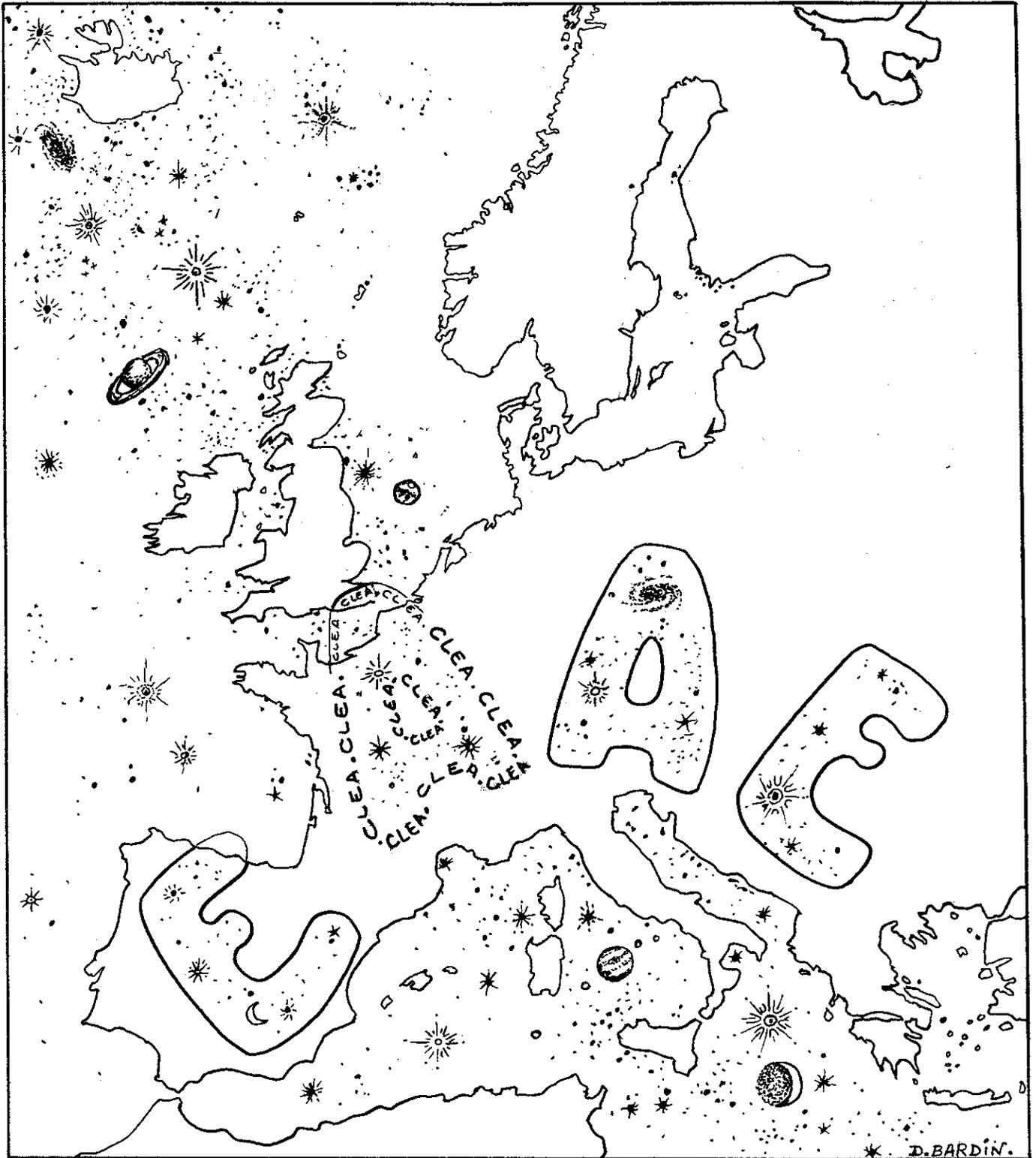


# es cahiers clairaut

ulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 73 - PRINTEMPS 1996

ISSN 0758-234 X

# Le C.L.E.A. - Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

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

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAPPEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

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

## La liste des publications du CLEA figure en pages 3 et 4 de la couverture

### Bureau du CLEA pour 1996

<i>Présidents d'honneur</i>	Jean-Claude PECKER Evry SCHATZMAN
<i>Présidente</i>	Lucienne GOUGUENHEIM
<i>Vice-Présidents</i>	Agnès ACKER Marie-France DUVAL Hubert GIE Jean RIPERT Jacques VIALLE
<i>Secrétaires-trésoriers</i>	Catherine VIGNON Gilbert WALUSINSKI

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut : Daniel Bardin, Lucette Bottinelli, Pierre Causeret, Jacques Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Jean-Paul Parisot, Georges Paturel, Jean Ripert, Jean-Paul Rosenstiehl, Daniel Toussaint, Jacques Vialle, Gilbert Walusinski.

# LES CAHIERS CLAIRAUT

Printemps 1996

	page
La mesure du temps .....	2
La mesure du diamètre apparent du Soleil.....	6
Point sur les opérations de triangulation.....	13
Aux objets trouvés du vingtième siècle .....	15
Mal de mer.....	18
Lectures pour la Marquise .....	20
A propos de l'oeuvre astronomique de Clairaut .....	25
les Très Riches Heures du Duc de Berry et le calendrier .....	30
Mars et Vénus .....	35
Université d'été d'astronomie du CLEA .....	39
Colloque "New Trends in Astronomy Teaching" .....	39
Chronique du CLEA.....	40

## EDITORIAL

Nous ouvrons ce numéro avec une petite histoire de la mesure du temps (dans nos cartons depuis un certain temps...) que nous devons à Françoise Suagher. Nous la publions sous la forme du "feuilleton", adaptée à nos contraintes rédactionnelles. Un document qui sera particulièrement utile à ceux d'entre vous qui enseigneront ce thème en filière L, dans la classe de terminale, si les projets actuels des Groupes Techniques de Physique-Chimie et de Mathématiques se concrétisent. Ils pourront aussi se reporter à l'article de notre fidèle correspondant Paul Perbost, qui étudie le calendrier dans "les Très riches Heures du Duc de Berry".

Curieusement, deux auteurs, Jacques Vialle et Suzanne Débarbat font appel à Jules Verne : le premier pour traquer la "licence poétique", la seconde pour venir en aide aux lecteurs soucieux de comprendre le fonctionnement du cercle de Borda.

C'est un plaisir de suivre, de saison en saison (nous voulons dire en numéros successifs des Cahiers ...) l'obstination tranquille de Pierre Causeret à comprendre ce que les élèves ont dans la tête et à les conduire à soumettre leurs conceptions à la pratique de l'observation.

Enfin, Guy Boistel nous propose un article passionnant sur Clairaut, fruit de son travail de recherche.

Merci à tous, sans oublier K. Mizar et Annie Laval (infatigable lectrice).

N'omettez pas de lire les informations de la page 39 : un colloque international sur l'enseignement de l'astronomie auquel vous êtes tous conviés, et l'annonce de la prochaine Université d'été du CLEA.

La Rédaction

## **LA MESURE DU TEMPS**

**Françoise SUAGHER**

Pendant des milliers d'années, l'homme s'est acharné à définir le temps à partir de la rotation apparente du Soleil. Il a cherché à imiter ce mouvement circulaire uniforme dans la détermination de l'heure, et la réalisation des horloges. Puis, la mécanique se faisant plus précise, il s'est trouvé confronté à de nouveaux problèmes astronomiques l'obligeant tout d'abord à abandonner le mouvement du Soleil comme garde temps pour lui préférer la rotation de la terre autour de l'axe des pôles. Enfin, c'est la terre, elle-même qu'il a fallu renier, son mouvement de rotation étant, à son tour, trouvé trop chaotique. C'est cette longue histoire de la mesure du temps que nous allons évoquer, et davantage l'aspect astronomique que celui de la technologie horlogère qui, je l'avoue, me dépasse et de beaucoup.

### **LE TEMPS DES ASTRES**

L'écoulement de l'eau dans une clepsydre, du sable dans un sablier, le comptage des battements du coeur humain ou des oscillations d'un pendule, le déplacement des étoiles ou du Soleil permettent de déterminer des durées. Mais le mouvement du Soleil, indépendant de l'observateur et de sa position géographique a constitué le sablier universel nos ancêtres.

#### **LE GNOMON.**

L'observation de la marche du Soleil est le moyen le plus simple, le plus naturel et le plus anciennement utilisé pour évaluer les durées. De tout temps, les hommes ont remarqué la variation de la direction et de la longueur des ombres. Les gnomons et les scaphés sont des cadrans solaires primitifs. Ils sont inspirés du mouvement du Soleil au cours de la journée et au cours de l'année.

Longue le matin, passant par un minimum en milieu de journée (midi), l'ombre s'étire à nouveau l'après-midi. Le gnomon, constitué par un bâton vertical fiché dans le sol, permet de déterminer facilement l'instant de midi, correspondant à l'ombre la plus courte, et de repérer la direction Nord- Sud.

Parfois, un orifice donne une tache de lumière à l'intérieur d'un bâtiment. Les oeil de boeuf des thermes romains, permettent d'avoir une idée de l'heure sans avoir à sortir.

Le gnomon ne permet pas d'obtenir des divisions régulières de la journée : l'ombre ne décrit pas des secteurs égaux pendant des durées égales. De plus, la trajectoire du Soleil en été diffère beaucoup trop de celle d'hiver, les journées passant de 16 h à 8 h sous nos latitudes.

Les philosophes et astronomes Grecs des V<sup>ème</sup> et IV<sup>ème</sup> siècles avant JC exploitent au maximum les possibilités du gnomon. Après avoir défini les points cardinaux, ils s'intéressent à la variation de la longueur de l'ombre méridienne (dans la direction Nord Sud) au cours de l'année. Longue en hiver, courte en été, la longueur de l'ombre à midi permet de se repérer dans l'année, et d'élaborer un calendrier. Le gnomon sert à déterminer le solstice d'été, qui coïncide avec le début de l'année athénienne (ou olympique).

Plus tard, il permet de déterminer les équinoxes, l'obliquité de l'écliptique et la longitude du lieu par la valeur du rapport des longueurs des ombres méridiennes aux solstices. Pythéas a ainsi déterminé la longitude de Marseille, au IV<sup>ème</sup> siècle avant JC.

Vers 164 avant JC, au moment où Rome s'équipe d'un cadran solaire réalisé pour sa latitude, le grand obélisque de Montecitorio, sur le champ de Mars, sert de gnomon à un cadran solaire géant dont l'ombre se déplace sur des lignes de bronze dans le dallage de marbre.

## **LE SCAPHE**

Vers le V<sup>ème</sup> siècle, les Grecs perfectionnent le gnomon. Ils utilisent un quart de sphère, tournée vers le zénith et muni d'une tige horizontale, le style, dont la pointe coïncide avec le centre de la sphère. Dès que le Soleil monte à l'horizon, l'ombre du style se déplace à l'intérieur du scaphé. On peut tracer la route suivie par l'extrémité de l'ombre aux solstices et aux équinoxes pour se repérer dans l'année. Le scaphé comporte 11 graduations ; ainsi l'intervalle de temps entre le lever et le coucher du Soleil est divisé en 12 parties, les heures. Les heures d'hiver et d'été, n'ont pas la même durée (40 min en hiver et 80 en été). On prend également l'habitude de diviser la nuit en 12h ; donc les heures de jour et de nuit n'ont pas la même durée sauf aux équinoxes. Ce système d'heures est celui des heures temporaires, antiques ou bibliques.

## **LA RONDE NOCTURNE DES ETOILES**

Le déplacement des constellations dans le ciel au cours de la nuit permet aussi d'évaluer les durées, mais nos ancêtres s'intéressent surtout aux constellations les premières visibles le soir (coucher héliaque) ou aux dernières visibles avant le petit jour (lever héliaque). Ces constellations variables d'une saison à l'autre leur donnent un repérage à l'intérieur de l'année, donc un calendrier. Ainsi, les Egyptiens utilisent des tableaux qui leur permettent de connaître l'heure de la nuit, en observant, pendant chacune des 36 décades de l'année, quelle étoile remarquable vient de se lever. En particulier, le lever héliaque de Sirius annonce la crue du Nil. Les savants égyptiens possèdent aussi un autre système basé sur la hauteur d'une constellation dans son mouvement autour de l'étoile polaire. Ce principe a été repris au Moyen Age (par Pedro di Médina) et constitue un ancêtre de notre nocturlabe.

Le lever héliaque des Pléiades, au printemps, a servi de référence dans de nombreux calendriers primitifs. En Grèce, les poèmes d'Hésiode datant du VII<sup>ème</sup> siècle avant JC, lient le

lever héliaque des Pléiades aux différents travaux des champs.

Pendant longtemps, l'homme vivant essentiellement d'agriculture et d'élevage, n'a guère besoin de divisions précises de la journée. Il lui suffit de se positionner dans l'année, pour organiser les semences et les récoltes. Cependant des systèmes plus complexes, utilisés par l'élite de l'époque sont en train de se perfectionner. Le temps des astres cède la place au temps des premières machines.

## **LES PREMIERES MACHINES**

Afin de conquérir la nuit pour en avoir moins peur et de pallier aux jours sans Soleil, il fallait échapper à l'emprise du ciel, inventer les premières machines à mesurer les durées.

### **LES HORLOGES A EAU.**

C'est l'eau, élément qui différencie notre planète par rapport aux autres terres du ciel, qui va donner à l'homme ses premiers succès. Parce qu'on peut l'enfermer dans le moindre récipient, la faire couler de jour comme de nuit, l'eau est plus maniable que l'ombre solaire. Utiliser l'eau comme marque temps, c'est pour l'homme, un petit pas de plus vers l'appropriation de la planète.

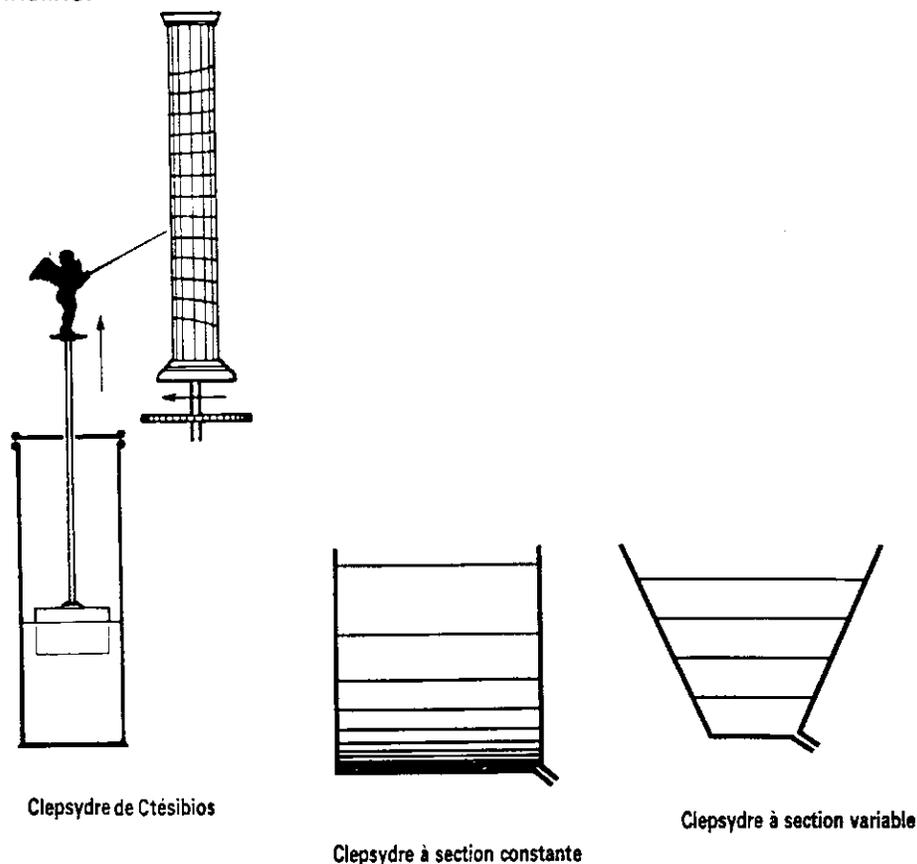
Les horloges à eau font leur apparition en Egypte cinq siècles après les premiers cadrans solaires. La plupart du temps, ce sont de grands vases coniques (pour compenser le débit qui dépend de la hauteur d'eau dans le récipient), ayant à la base un petit tube d'écoulement. Remplies au début du jour, elles indiquent l'heure sur une division linéaire intérieure au fur et à mesure que le niveau baisse. On attribue au célèbre mécanicien égyptien Ctésibus (200 avant JC) une clepsydre à flotteur comportant des engrenages, et indiquant les heures, les jours et les mois.

Les horloges à eau ou clepsydres (du grec Klepsydría : voleur d'eau) sont en particulier utilisées pour mesurer la durées des plaidoiries. A Athènes, la Tour des Vents est un édifice octogonal qui présentait sur ses huit faces des cadrans solaires verticaux et contenait à l'intérieur une horloge à eau, alimentée par la source Clepsydre.

Le système est loin d'être parfait, les problèmes sont nombreux, dûs à la viscosité, la constance du débit, etc, et il faudra longtemps pour améliorer le système.

Avec la chute de l'empire romain et les invasions, le centre du monde se déplace vers le monde arabe et l'orient. Les clepsydres sont améliorées, et perfectionnées avec des automates. Le premier échappement apparaît, en Chine, sur l'horloge de Su Song en 1090. A cette période se développe aussi dans le monde arabe, la technique des astrolabes et des cadrans solaires à

style incliné.



## LES SABLIERES ET AUTRES SYSTEMES.

Le sablier n'apparaît que tardivement dans l'histoire de la mesure du temps, car il nécessite le savoir-faire d'un verrier. L'horloge de sable, apparaît en Europe au 8<sup>ème</sup> siècle, la légende en attribuant l'invention à un moine de Chartres. Les progrès de la verrerie permettront d'obtenir un récipient bien hermétique, dont le fonctionnement ne sera plus ralenti par l'humidité. Le sablier qui continue à couler là où l'eau gèle convient pour mesurer des petits intervalles de temps.

Dans le livre des records, signalons celui de Charlemagne, que l'on ne retournait que toutes les 12 heures. Au XVI<sup>ème</sup> siècle, on le rencontre partout, dans les cuisines et dans les églises pour limiter la durée des sermons. Sur les bateaux, il est utilisé associé à la corde à noeuds pour déterminer la vitesse du bateau.

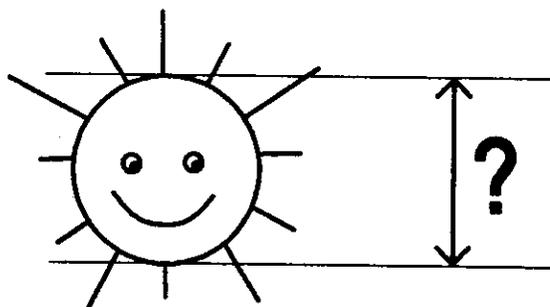
De nombreux autres systèmes astucieux ont été utilisés pour la mesure du temps : les horloges à chandelles, qui la nuit apportaient en même temps lumière et mesure du temps, les horloges à huile comme celle que possédait en France Charles V vers 1300, et des horloges aromatiques, bougies dont la mèche était imprégnée d'essences différentes et reconnaissables.

*(à suivre)*

# La mesure du diamètre apparent du Soleil

## comment lutter contre quelques idées fausses en astronomie

Pierre Causeret (sentier du Mordain, 21170 ESBARRES)



L'activité consiste à mesurer le diamètre apparent du Soleil à différentes heures et dates pour répondre à deux questions :

1) Le Soleil semble souvent plus gros à son lever ou à son coucher.

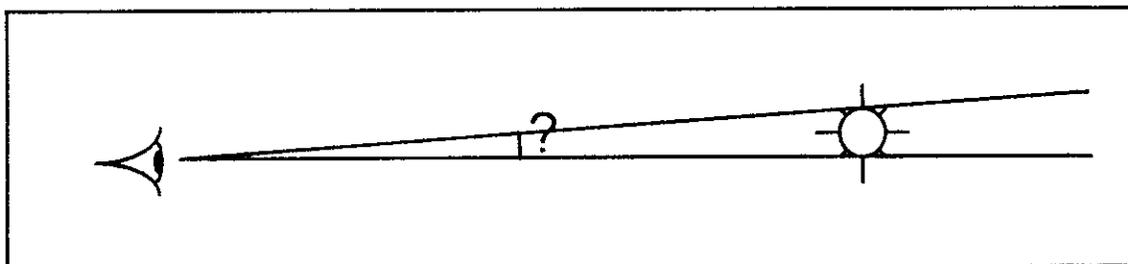
Est-ce mesurable ?

2) Est-on plus près du Soleil en été qu'en hiver ?

Pour connaître les réponses les plus courantes à ces questions, une enquête a été réalisée par des élèves.

Différentes méthodes plus ou moins précises ont été ensuite utilisées pour mesurer ce diamètre apparent.

Ce travail a été réalisé par un petit groupe d'élèves de Troisième avec leur professeur de mathématiques sur quelques mois (en dehors des heures de cours). L'ensemble de l'activité peut être menée par des élèves de la Troisième à la Terminale.



Le diamètre apparent du Soleil est l'angle sous lequel on voit son diamètre depuis la Terre ; on le mesure en degrés ou minutes d'arc.

## **Première partie : l'enquête**

Environ 70 personnes seulement ont été interrogées. C'est assez peu mais cela donne néanmoins une idée des opinions les plus répandues.

**Question 1 : le diamètre apparent du Soleil est-il plus gros à son coucher qu'à midi ?**

REPONSES : oui 59,42% ; non 33,33% ; ne savent pas 7,25%

Une nette majorité pense que oui alors qu'il ne s'agit que d'une illusion d'optique qu'on peut expliquer de la façon suivante : lorsqu'on observe un objet à l'horizon, on a l'habitude de le voir plus petit qu'à la verticale, bien évidemment à cause de sa plus grande distance. Un arbre vu au loin paraîtra minuscule à l'horizon et beaucoup plus grand si l'on est dessous. De la même manière, lorsqu'un nuage ou un oiseau passe au-dessus de nous, on le voit toujours plus gros à la verticale, car plus proche. Mais le Soleil, lui, est toujours pratiquement à la même distance et comme il n'est pas plus petit à l'horizon, notre cerveau nous dit qu'il est plus gros.

**Question 2 : est-on plus près du Soleil en été qu'en hiver ?**

REPONSES : oui 71,01% ; non 27,54% ; indécis 1,45%

Plus des deux tiers des personnes interrogées se trompent. Les saisons ne sont dues qu'à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite et absolument pas à des problèmes de distances (contrairement à ce qu'affirment de mauvais livres).

**Question 3 : Le Soleil se lève exactement à l'Est. Vrai ou faux ?**

REPONSES : oui 63,77% ; non 33,33% ; indécis 2,90%

Toujours une majorité de réponses fausses, ce qui est davantage surprenant ici car il suffit d'observer les directions de lever du Soleil en été et en hiver pour s'apercevoir qu'elles sont très différentes (71° d'écart). Notons de plus que cette enquête a été réalisée dans un collège de campagne où l'horizon est rarement caché par de grands immeubles.

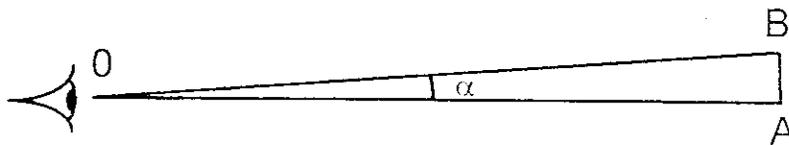
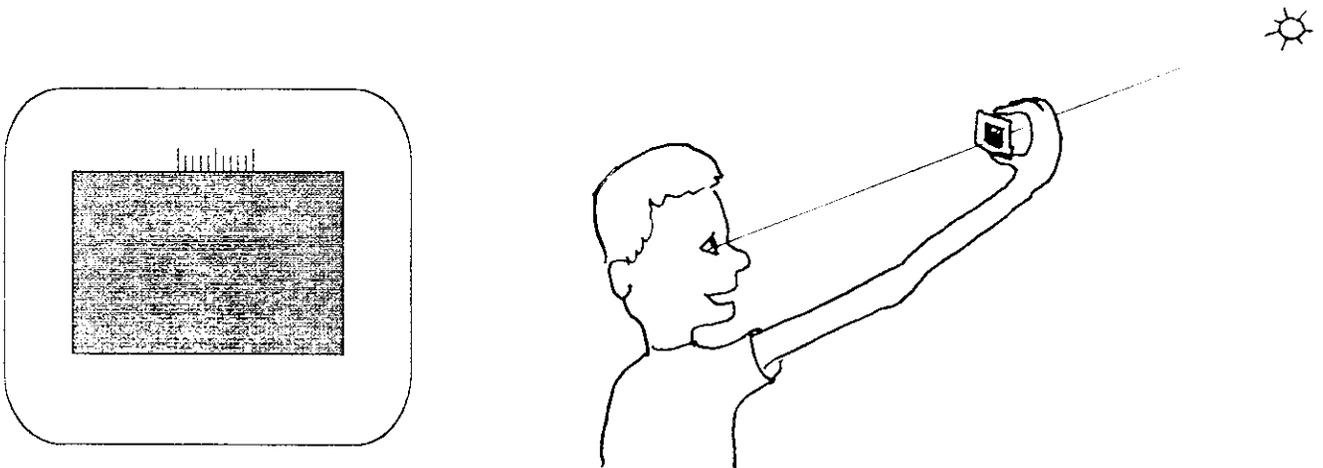
Conclusion : l'opinion la plus répandue n'est pas toujours la bonne.

## Deuxième partie : mesures simples

On utilise des diapositives ratées, les plus noires possibles. Il vaut mieux, en général, superposer deux diapos. Même ainsi, une observation prolongée fatigue les yeux, les UV sont insuffisamment stoppés. Il faut donc bien prévenir les élèves que l'expérience n'est pas à faire trop longtemps ni trop souvent.

### Première méthode

1. Sur le bord de la diapo, on note une graduation en millimètres.
2. On observe le Soleil à travers une diapo (ou deux superposées), bras tendu et on note la mesure.



Il suffit de fournir une ou deux diapos noires par élève et chacun peut faire les mesures quand il veut.

Exemple de mesure faite par des élèves en mars 1994 :

distance oeil diapo  $OA = 50$  cm ; diamètre du disque solaire sur la diapo  $AB = 7$  mm

Calcul du diamètre apparent : les élèves utilisent en général la trigonométrie assimilant le triangle OAB à un triangle rectangle :

$$\tan(\alpha) = \frac{AB}{OA} = \frac{7}{500} = 0,014 \quad ; \quad \text{d'où } \alpha = 0,8^\circ \text{ ou } 48'$$

Mais en confondant AB avec l'arc de cercle de centre O, une simple proportion suffit :

$$2\pi \times 50 \text{ cm} \rightarrow 360^\circ \quad ; \quad 0,7 \text{ cm} \rightarrow 0,8^\circ$$

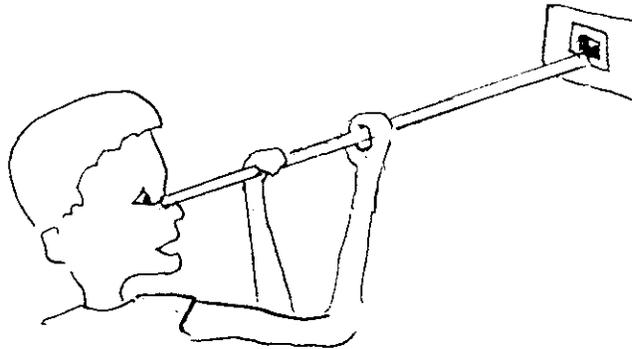
Ici, le résultat obtenu est un peu trop grand (on donne en moyenne  $0,5^\circ$  car nous

avons utilisé une seule diapo et le Soleil restait ainsi trop lumineux. Avec deux diapos superposées, les mesures sont meilleures.

D'autres mesures ont été effectuées à midi, le soir et à différentes dates. Aucune différence significative n'a été observée.

Premières conclusions : le diamètre apparent du Soleil à son coucher est donc à peu près le même qu'à midi, ce que de nombreuses personnes refusent d'admettre. On peut vérifier aussi, sans diapos, qu'il est possible de cacher la Soleil avec un seul doigt, bras tendu, même si ce doigt est l'auriculaire. Et ceci reste vrai aussi bien à midi qu'au lever ou au coucher du Soleil. Si on refait l'expérience à différentes époques de l'année, on obtient toujours pratiquement le même diamètre apparent. La distance Terre-Soleil ne peut donc varier de manière relativement importante.

### Deuxième méthode



La diapositive, dont le cadre est toujours gradué, est cette fois disposée à l'extrémité d'un bâton de 1 mètre. Pour viser le Soleil sans être ébloui, on peut entourer la diapo d'un carton opaque de 10 à 20 cm de côté. Avec deux diapos superposées, on a obtenu un disque lumineux de 9 mm environ. Le même calcul de proportion donne

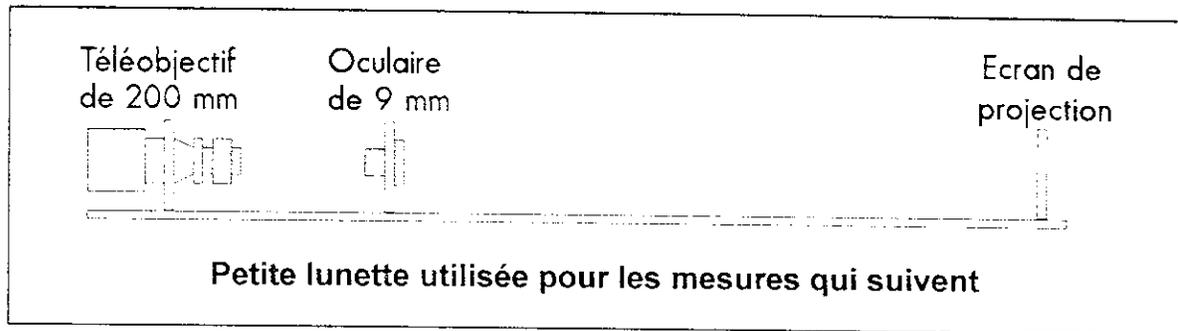
$$2\pi \times 100 \text{ cm} \rightarrow 360^\circ \quad ; \quad 0,9 \text{ cm} \rightarrow 0,516^\circ \text{ ou } 31'$$

ce qui est assez précis (avec une seule diapo, nous avons trouvé 11 mm au lieu de 9 et 38' au lieu de 31').

## Troisième partie : instrument de mesure du diamètre apparent

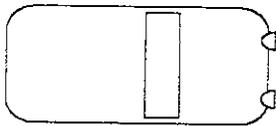
### Principe

Pour obtenir des mesures plus précises, il faut disposer d'une petite lunette qui permettra de projeter une image du Soleil suffisamment grande sur une feuille. Si l'on veut faire des mesures à différentes époques de l'année, il est indispensable que le grossissement soit toujours exactement le même. Il vaut mieux construire un petit instrument avec un objectif, un oculaire et une tablette de projection ; l'ensemble est fixe et ne peut être déréglé. Le diamètre de l'instrument doit être suffisant pour que l'on puisse obtenir une image du Soleil assez grosse en conservant un bord net.

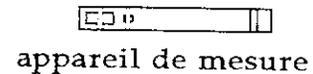


### Graduation de l'appareil

Pour transformer une mesure en millimètres en mesure d'angle, il faut auparavant étalonner l'appareil. Pour cela nous avons visé les phares d'une voiture située à une distance connue :



**Voiture**  
phares allumés



appareil de mesure

distance phares appareil : 298 m

écartement des phares : 94 cm

distance des images des phares sur l'écran de projection : 28,5 mm

Angle apparent de l'écartement des phares vus à 298 m :

$$2\pi \times 298 \text{ m} \rightarrow 360^\circ \quad ; \quad 0,94 \text{ m} \rightarrow 0,181^\circ \text{ ou } 10,8'$$

Etalonnage de l'appareil :

$$28,5 \text{ mm} \rightarrow 10,8' \quad ; \quad 1 \text{ mm} \rightarrow 0,38'$$

Conclusion : 1 mm sur l'écran de projection correspond à un angle de 0,38 minutes d'arc (+ ou - 3%)

Nous aurions pu refaire des mesures pour obtenir une meilleure précision. On suppose, sans démonstration, que les longueurs mesurées sur l'écran sont proportionnelles aux mesures des angles ; pour le vérifier, on pourrait s'amuser à viser une rangée de lampadaires régulièrement espacés.

### Les mesures

$d$  est le diamètre de l'image du Soleil projetée sur l'écran ;  $\alpha$  est le diamètre apparent du Soleil :

le 04/01/95  $d = 85 \text{ mm}$   $\alpha = 32,3'$

le 13/03/95  $d = 84 \text{ mm}$   $\alpha = 32'$

le 03/05/95  $d = 83 \text{ mm}$   $\alpha = 31,6'$   
le 19/06/95  $d = 82 \text{ mm}$   $\alpha = 31,2'$   
le 03/07/95  $d = 82 \text{ mm}$   $\alpha = 31,2'$

Les éphémérides donnent un diamètre apparent du Soleil de  $32,6'$  début janvier à l'époque du périhélie, de  $31,5'$  début juillet à l'époque de l'aphélie. Avec une erreur de l'ordre de 1%, nos mesures paraissent donc tout à fait acceptables, l'erreur pouvant provenir aussi bien de la mesure du diamètre apparent que de l'étalonnage de l'appareil.

Précision : l'incertitude est au maximum d'un millimètre sur chaque mesure de diamètre ; diamètre maximum en janvier, de 84 à 86 mm ; diamètre minimum en juillet de 81 à 83 mm

### Conclusion

Il apparaît nettement que le diamètre apparent du Soleil varie. Si on suppose que le diamètre réel est constant, c'est que la distance Terre-Soleil varie. On est donc plus loin du Soleil en juin et juillet qu'en janvier. La variation mesurée est d'environ 4%.

Ces quelques mesures réalisées avec une simple petite lunette permettent donc d'affirmer que les variations de température entre l'hiver et l'été n'ont rien à voir avec les distances Soleil-Terre. Rappelons qu'il fait plus chaud en été parce que les rayons du Soleil, à midi, sont plus proches de la verticale qu'en hiver et chauffent donc davantage qu'en lumière rasante, et ensuite parce que les périodes d'insolation sont plus longues, ces deux phénomènes étant dûs à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de son orbite.

Certains élèves se sont aussi interrogés sur les variations de distance de l'observateur au Soleil au cours de la journée. A minuit, on est plus éloigné du Soleil qu'à midi mais la variation est au maximum d'un diamètre terrestre, soit 12 700 km, pour une distance de 150 000 000 km, ce qui est inférieur à 0,01%.

Toutes les idées fausses sur la relation entre saisons et distance Terre-Soleil viennent, entre autres, de deux types de schémas trompeurs assez répandus :

- Certains livres présentent une Terre énorme montrant en été un hémisphère Nord beaucoup plus proche du Soleil que l'hémisphère Sud.
- On dessine très souvent l'orbite de la Terre comme une ellipse très excentrique alors qu'elle est très voisine d'un cercle ; les saisons s'expliquent sans problème en faisant décrire à la Terre un cercle parfait centré sur le Soleil.

### Calcul de l'excentricité de l'orbite terrestre

Pendant longtemps, les Grecs ont utilisé un cercle excentré pour représenter le mouvement apparent du Soleil autour de la Terre (considérée alors comme centre du

monde). Depuis Kepler, on sait que l'orbite de la Terre est une ellipse. Mais dans le cas qui nous intéresse, cercle excentré et ellipse sont pratiquement équivalents. Si on représente l'orbite de la Terre par un cercle de un mètre de rayon au lieu d'une ellipse, on introduit une erreur inférieure au dixième de millimètre. Le Soleil devrait être placé non pas au centre mais à 1,7 cm de celui-ci.

O centre de l'ellipse

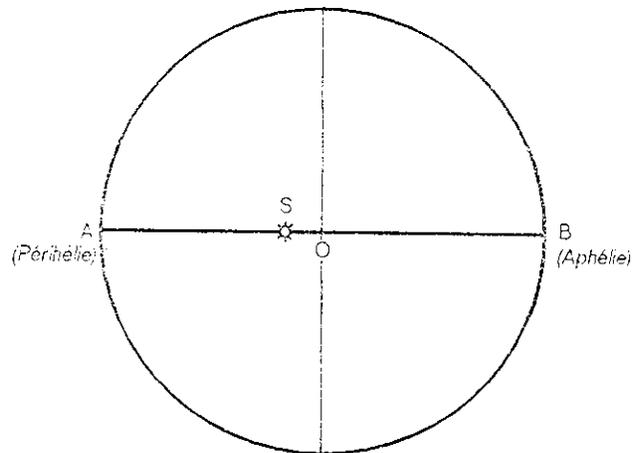
S Soleil à l'un des foyers de l'ellipse

a = OA demi grand axe de l'ellipse

c = OS

AS = a - c (distance minimale)

BS = a + c (distance maximale)



$$\text{Excentricité} = \frac{c}{a}$$

CALCULS : le diamètre de l'image du Soleil que l'on a mesuré est proportionnel au diamètre apparent du Soleil qui est lui-même inversement proportionnel à la distance du Soleil

$$AS = \frac{k}{85} \quad BS = \frac{k}{82} \quad \text{d'où } a = k/2 (1/82 + 1/85) \quad \text{et } c = k/2 (1/82 - 1/85)$$

$$\text{Excentricité} = \frac{c}{a} = \frac{85 - 82}{85 + 82} = 0,018$$

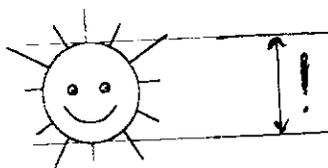
Comparé à la valeur 0,017 donnée habituellement, cela semble un excellent résultat. Mais il a été obtenu avec de la chance car en tenant compte des incertitudes de mesure on trouve une valeur comprise entre 0,006 et 0,030. Nous avons donc au moins un ordre de grandeur.

A partir de la connaissance de la distance du Soleil (150 000 000 km), et connaissant son diamètre apparent, on peut facilement calculer le diamètre réel du Soleil. Là encore, les élèves ont tendance à vouloir utiliser la trigonométrie alors qu'une simple proportionnalité suffit :

$$360^\circ \rightarrow 2 \times \pi \times 150\,000\,000 \text{ km}$$

$$1' \rightarrow 43\,600 \text{ km}$$

$$32' \rightarrow 1\,400\,000 \text{ km}$$



## POINT SUR LES OPERATIONS DE TRIANGULATION

Suzanne Débarbat, Observatoire de Paris

**Note de la Rédaction** : L'auteur nous a adressé cet article en précisant qu'il a été écrit en réponse à des questions posées par des lecteurs qui demandaient des explications pour les opérations de triangulation. Nous la remercions vivement.

Faisant suite à la note sur l'emploi du cercle de Borda (Cahiers Clairaut n°67, p. 32) reprise du cours de cosmographie de Ch. Delaunay, voici un descriptif d'une opération de triangulation extraite d'un ouvrage de Jules Verne. Dans *Aventure de trois Russes et de trois Anglais en Afrique australe* (Edition Librairie hachette et Cie 1918, conforme à l'édition princeps de Hetzel), Jules Verne s'appuie (figure 1) sur les *Leçons nouvelles de Cosmographie* de M.H. Garcet, professeur de mathématiques au Lycée Henri IV. Ceux qui y enseignent actuellement retrouveront peut-être la trace de ce livre...

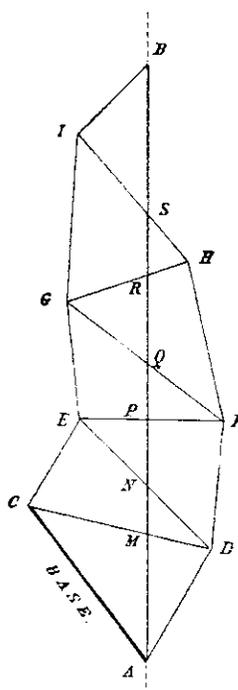


Figure 1 : Afin de faire mieux comprendre à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas suffisamment familiarisés avec la géométrie, ce qu'est cette opération géodésique qu'on appelle une triangulation, nous empruntons les lignes suivantes aux *Leçons nouvelles de Cosmographie* de M. H. Garcet, professeur de mathématiques au Lycée Henri IV. A l'aide de la figure ci-jointe, ce curieux travail sera facilement compris.

Soit AB l'arc du méridien dont il s'agit de trouver la longueur. On mesure avec le plus grand soin une base AC, allant de l'extrémité A du méridien à une première station C. Puis on choisit de part et d'autre de la méridienne, d'autres stations D, E, F, G, H, I, etc... de chacune desquelles on puisse voir les stations voisines, et l'on mesure au théodolite, les angles de chacun des triangles ACD, CDE, DEF, etc..., qu'elles forment entre elles. Cette première opération permet de résoudre ces divers triangles : car, dans le premier on connaît AC et les angles, et l'on peut calculer le côté CD ; dans le deuxième, on connaît le côté CD et les angles, et l'on peut calculer le côté DE, et ainsi de suite. Puis on détermine en A la direction de la méridienne par le procédé ordinaire, et l'on mesure l'angle MAC que cette direction fait avec la base AC : on connaît donc dans le triangle ACM le côté AC et les angles adjacents, et l'on peut *calculer* le premier tronçon AM de la méridienne. On calcule en même temps l'angle M et le côté CM : on connaît donc dans le triangle MDN le côté DM = CD - CM et les angles adjacents, et l'on peut *calculer* le deuxième tronçon MN de la méridienne, l'angle N et le côté DN. On connaît donc dans le triangle NEP le côté EN = DE - DN, et les angles adjacents, et l'on peut *calculer* le troisième tronçon NP de la méridienne, et ainsi de suite. On comprend que l'on pourra ainsi déterminer par parties la longueur de l'arc total AB.

Les mesures d'angles au cercle de Borda s'effectuent comme représenté (figure 2) dans l'illustration de la page 56 des *Aventures* ; elles ont visiblement, dans ce cas lieu de jour. Pour la latitude déterminée par les étoiles, le même cercle de Borda est disposé verticalement (figure 3) et les opérations ont lieu de nuit ; des étoiles sont d'ailleurs représentées sur cette gravure de la page 49 des *Aventures*.

Il ne reste plus aux lecteurs (trices) de cet article qu'à imaginer comment il faut opérer lorsque la base est un peu en dehors de la chaîne des triangles et quand le méridien de référence ne passe ni par A ni par B.



Figure 2 : "Les astronomes s'occupèrent"

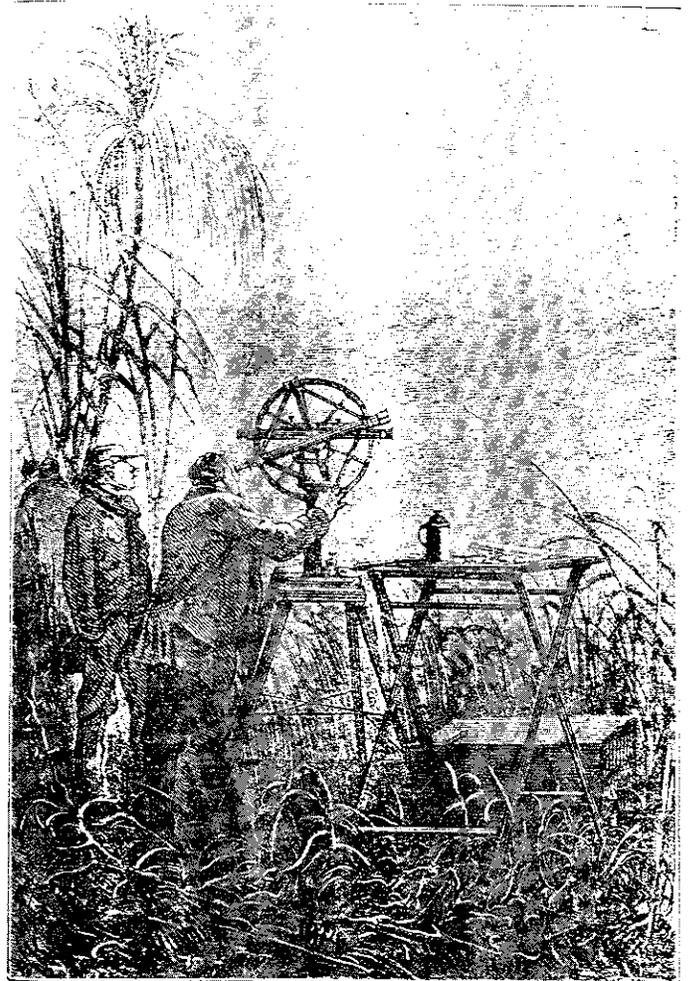


Figure 3 : "Ces jeunes gens avaient observé"

---

---

## Aux Objets Trouvés du vingtième siècle

---

---

### *Réflexions angoissées, jubilatoire et incomplètes d'un citoyen ordinaire sur l'ATOME et sur l'UNIVERS*

Le citoyen ordinaire, que certains connaissent sous le nom de citoyen  $\Lambda$ , mais qui peut être vous, si cela ne vous offusque pas, ou bien moi qui serai tenté de prendre cette dénomination comme un compliment, ce citoyen ordinaire peut-il être comparé à *l'honnête homme* des temps classiques ? L'un comme l'autre ne sont spécialistes ou experts en rien et leur seule richesse est d'avoir une assez claire conscience de leur vaste et profonde ignorance. Mais là s'arrête leur ressemblance. Aux temps classiques, ceux de la marine à voile et des diligences, l'honnête homme pouvait ignorer les problèmes qui agitaient le petit monde des savants et des chercheurs aussi bien que les problèmes humains des peuples lointains de Slavonie ou d'Aragon. Toutes ignorances qui n'empêchaient pas le laboureur de prospérer en Beauce, au menuisier picard de manier la varlope ou au régent de collège d'enseigner le bon latin à quelques adolescents privilégiés du Beauvaisis oriental. Le citoyen ordinaire d'aujourd'hui est beaucoup moins ignorant de l'existence des grands problèmes de la planète et de l'humanité car il est submergé d'informations, écrites, parlées ou codées, ce qui ne signifie évidemment pas qu'il soit plus savant. Il jouit aussi d'un privilège dont il abuse, celui d'apprendre trop vite à utiliser des machines dont il ne comprend pas le fonctionnement.

Encore une différence importante entre *l'honnête homme* et *le citoyen ordinaire* : le premier pouvait facilement s'isoler pour réfléchir et trouver le temps de lire Montaigne ou la Bible ou... ; le second peut difficilement ignorer ses voisins de pallier aussi bien que ses semblables de Patagonie ou de Mandchourie méridionale car il se sait embarqué avec eux sur une boule bien trop petite et bien trop peuplée qui tourne, tourne et évolue de plus en plus vite.

Me considérant donc comme un de ces citoyens ordinaires, j'ai pénétré, non sans appréhension dans le magasin AUX OBJETS TROUVES DU VINGTIEME SIECLE. Dommage que je ne sois pas Dickens, il aurait su vous décrire ce pandemonium (je viens de vérifier sur le dictionnaire : "lieu où règne le désordre"). Des machines, des grosses et des toutes petites, des dossiers très minces (exemple, celui des solutions à efficacité vérifiée pour supprimer le chômage des jeunes), un autre dossier énorme qui vient d'être clos (démonstration de la conjecture de Fermat). Que choisir ? Quand le magasinier m'a demandé ce que je souhaitais examiner, j'ai timidement exprimé l'ambition d'emporter, pour avoir tout loisir de les dépouiller, deux dossiers, l'atome et l'Univers. "Vous avez une grosse voiture, me dit le préposé, car je vous préviens, ce sont des dossiers encombrants." Je n'ai pas voulu flancher, j'ai transporté les cartons. Quand je les ai ouverts, je n'ai pas été déçu mais ai-je bien compris leur richesse ? J'ai essayé de résumer ce que j'y ai trouvé. Vous me direz, Lecteurs des CC, que je n'ai pas tout vu, vous réparerez mes omissions et mes bévues.

### Des nouveautés très anciennes

*Atome, Univers*, des mots qui ont beaucoup servi au cours des siècles et dans toutes les civilisations, et derrière ces mots, des concepts qui ont changé alors que les mots perduraient. Les Egyptiens de la belle époque – que ceux d'aujourd'hui me pardonnent l'expression – savaient construire et bien orienter les grandes pyramides ; ils voyaient l'Univers comme une sorte de boîte rectangulaire orientée Sud-Nord comme le Nil. D'ailleurs, dans cette vallée, qui aurait eu l'idée d'orienter autrement cette grande boîte ? La boîte rectangulaire des Egyptiens n'est pas plus difficile à concevoir que l'Univers en expansion dont prétend parler notre journal quotidien en mal de copie, mais la boîte fait sourire l'écolier qui trouve l'expansion tout à fait naturelle. On comprend la tâche ardue des historiens des sciences qui à propos de chaque modèle doivent se demander sur quels fondements rationnels et irrationnels il a été conçu.

Les historiens s'accordent à attribuer à Leucippe et Démocrite la première formulation de l'atomisme. Rien ne vaut mieux que la manière dont l'énonçait Jean Perrin, à la première page de son livre *Les Atomes* qui parut en 1912 : "*Il y a vingt cinq siècles peut-être, sur les bords de la mer divine, où le chant des aèdes venait à peine de s'éteindre, quelques philosophes enseignaient déjà que la Matière changeante est faite de grains indestructibles en mouvement incessant*". Ces mêmes philosophes exprimaient une conviction forte "*Tout ce qui existe dans l'Univers est le fruit du hasard et de la nécessité*". Une affirmation qui a fait du bruit, qui continue à troubler les amateurs d'ordres divins..

Ces mêmes Grecs, pas Leucippe mais Eudoxe, qui, par ailleurs avaient inventé de si belles histoires, celle d'Ulysse par exemple, concevaient l'Univers comme un système de sphères emboîtées

les unes dans les autres et tournant autour d'axes bien choisis. Si bien que le système, "sauvait les phénomènes" c'est à dire rendait compte des mouvements du Soleil, de la Lune et des cinq planètes avec toute la précision qui correspondait aux observations des bergers et des poètes formant alors le principal des cénacles savants. Tout individu ayant les pieds sur terre avait la conviction d'habiter un lieu privilégié, peut-être sphérique, mais en tout cas et cela sûrement au centre du monde.

Jusqu'au jour où Eratosthène, depuis Alexandrie, et Aristarque, depuis Samos, réussissent à mesurer la circonférence terrestre donc son rayon puis évaluer les distances du Soleil et de la Lune. Des évaluations que nous jugeons un peu dérisoires car avec d'autres moyens nous avons pu les évaluer beaucoup mieux, mais Aristarque y puise l'idée extravagante que le Soleil, beaucoup plus gros que la Terre, serait le centre du monde. Bien sûr, cette idée n'aura aucun succès, elle heurte vraiment trop cette assurance que nous avons tous d'être le centre du monde.

Opinion renforcée par l'affirmation d'un dieu créateur tenant à se manifester, création faite, sur cette Terre, et pas n'importe où, au bord, ou presque, de cette "mer divine" chantée par des poètes atomistes.. Il faudra du temps, des siècles, pour qu'une succession merveilleuse de savants reprenne la belle idée de l'héliocentrisme (Copernic), nous libère du dogme des mouvements circulaires et uniformes (Kepler), nous donne le fruit de mille nuits d'observation de Mars (Tycho Brahe), nous apprenne à observer comment volent les papillons embarqués par mégarde dans la cabine d'un navire (Galilée) et enfin comment la Lune n'en finit pas de tomber sur la Terre (Newton). De 1543 à 1686, on a souvent dit qu'il y avait eu une révolution scientifique. En tout cas, après Newton on peut dire qu'il y a eu gestion et digestion de toutes ces découvertes, si bien que cela a fini par donner l'impression qu'on avait mis au point un modèle parfait : l'Univers fonctionnait aussi bien dans la réalité observée que dans la théorie construite (découverte de Neptune, exploration des planètes les plus périphériques par les sondes Voyager).

L'astronomie n'ayant alors rien à voir avec la structure de la matière, les chimistes découvraient des lois simples ou de plus en plus complexes et prétendaient même compter les grains de gaz dans une mesure unité de volume. Quand le XIX<sup>ème</sup> siècle s'achève avec les treize manières de compter le nombre d'Avogadro et la découverte de l'électron, on peut dire que l'atomisme scientifique a gagné la partie.

Mais, à cette date (la veille du vingtième siècle), il y a deux domaines scientifiques bien distincts, avec deux modèles, chacun en cours de perfectionnement, l'Atome et l'Univers. On peut même penser qu'ils correspondent à deux orientations de pensée, l'un vers le très petit, l'autre vers le très grand ou comme disent les lecteurs hâtifs de Pascal, les deux infinis, l'infiniment petit et l'infiniment grand. Arrivés presque en fin de XX<sup>ème</sup> siècle, le spectacle a changé.

### Modèles remis à neuf

D'abord, ce qui frappe par son caractère de nouveauté, c'est que le discours sur les deux infinis a pris un sérieux coup de vieux. L'infini, les mathématiciens ont réussi à comprendre comment on pouvait le ... définir. Pour les physiciens et les astronomes, l'habitude a été prise de mesures à toutes les échelles possibles. La seconde de temps est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133. Autrement dit, l'unité de temps dont devra se servir l'astronomie est définie par référence à des propriétés atomiques. Y a-t-il meilleure façon d'affirmer que les deux modèles ATOME et UNIVERS sont devenus le modèle ATOME-UNIVERS.

Côté UNIVERS, il y a eu organisation et agrandissement. Pensez qu'au début du siècle, notre Voie Lactée contenait toutes les merveilles. Alors que nous la voyons, notre Galaxie, comme un exemplaire parmi d'autres, beaucoup d'autres et toute une hiérarchie, amas de galaxies, superamas, amas de superamas... Surtout, l'idée d'évolution est devenue prépondérante puisque voir loin, c'est voir dans un passé d'autant plus éloigné de notre temps que l'objet est éloigné de nous dans l'espace. Cet espace, il faut même abandonner de le concevoir comme celui que la bonne géométrie d'Euclide nous a permis de le domestiquer. L'espace réel est celui qui est habité par ces galaxies qui se groupent en amas qui se fuient (concevoir en même temps des objets relativement proches les uns des autres qui, par attraction mutuelle, ont tendance à se grouper, amas d'objets beaucoup plus dispersés et encore soumis aux effets d'une explosion primordiale qui les fait s'éloigner les uns des autres ; pas facile !)

Côté ATOME, le grain indestructible n'est plus. On pénètre à l'intérieur et on commence à le voir comme entouré d'une nuée d'électrons (première classification des diverses espèces d'atomes d'après le nombre d'électrons, 1 pour l'hydrogène, 2 pour l'hélium...26 pour le fer, etc). Pour bien des usages, l'image de l'atome de Bohr avec son noyau à la place du Soleil et ses électrons planètes est commode. Mais riche aussi en contresens car à cette échelle, la bonne géométrie d'Euclide n'est plus le

cadre qui convient. Il faut, ici comme dans l'Univers, abandonner ses vieilles habitudes de pensée. Le noyau s'est décomposé en neutrons et protons avant de faire place au modèle quantique, les fermions, particules de matière réparties en six leptons (l'électron, le muon et le tau ainsi que les trois neutrinos associés) et les six quarks (bas ou d, haut ou u, étrange, charme, beauté, sommet), uud formant un proton, udd un neutron, et les bosons particules assurant la transmission des interactions qui sont comme on sait au nombre de quatre (photon, gluon, boson vecteur et graviton).

ATOME-UNIVERS, objet trouvé du vingtième siècle, à ce titre lourd dossier consulté au magasin encombré des objets trouvés, trouvés oui mais bien difficiles à saisir si l'on prend le mot au sens de saisir avec ses doigts. Abandonner tout espoir dans cette direction. Question d'échelle pour commencer. On nous parle de quasars à quelques milliards d'années de lumière soit de l'ordre de  $10^{25}$  mètres. Quant à saisir un quark, la théorie elle-même ne le conçoit qu'associé à d'autres quarks. Parmi les particules, l'électron paraît le mieux et le plus domestiqué. Par contre le muon ou électron lourd a une durée de vie très inférieure à la seconde, un objet bien plus insaisissable que le sylphe dont Paul Valéry chantait malicieusement la fugacité. Quant au graviton, seule la théorie nous affirme qu'il DOIT exister, il n'a jamais été décelé alors que l'attraction universelle dont il est porteur serait à l'origine de toute l'histoire depuis le fameux "big bang".

Les modèles d'aujourd'hui sont d'autant plus beaux, c'est à dire satisfaisants pour l'esprit qu'ils ne sont pas exprimables avec le langage des phénomènes macroscopiques courants. Donc ne pas prendre le nom des particules "au pied de la lettre" ; "beauté", "charme", "étrange" sont des noms de code qu'il faut prendre à la manière dont Hilbert nous invitait à prendre les mots *point*; *droite*, *par*proposant au besoin de les remplacer par *table*, *chaise*, *verre de bière*.

Ce qui me conduit vers d'autres questions.

### Angoisse et jubilation

D'un côté, au cours de ce siècle, les fulgurants progrès de la connaissance scientifique. Pour beaucoup de citoyens ordinaires de ma génération, ils ont appris presque en même temps Auschwitz et Hiroshima. Qui n'a lu le témoignage du chimiste Primo Levi sur le premier haut lieu de la barbarie du XXème siècle. Il faut vivre avec cette angoisse là.

Il y en a une autre, en prime : cette difficulté, voire cette impossibilité d'exprimer les réalités quantiques avec un langage qui est imprégné d'une logique formée à l'expérience de la géométrie d'Euclide, de la physique classique. Il y a toujours eu le problème de la communication du niveau de la recherche au niveau de la vulgarisation ; ce qui apparaît comme nouveau semble plus difficile à exposer, à expliquer. Ainsi, vers 1630, bien des pédagogues acquis à l'héliocentrisme jugeaient le bon vieil géocentrisme plus accessible à leurs élèves. Mais tous les efforts de vulgarisation supposés faits, ne restera-t-il pas, dans cet ATOME-UNIVERS d'aujourd'hui, une part incommunicable ? Angoisse d'une connaissance qui voudrait être complète et qui doit prendre conscience qu'elle ne le sera jamais.

L'individu est ainsi fait, citoyen ordinaire ou pas citoyen extraordinaire, qu'il passe vite de l'angoisse à la jubilation. Il y a tant de merveilles dans le magasin des objets trouvés, ces premiers pas sur la Lune que nous étions des milliards d'hommes et de femmes à regarder au même moment, cette démonstration de la conjecture de Fermat... Il y a l'angoisse fille de la connaissance et la jubilation qui a la même mère. Quand vous sentez trop forte la première, relisez une page de **Lumière et matière**, cette étrange histoire racontée par Richard Feynman, vous verrez comment angoisse et jubilation peuvent se combiner pour constituer quelque chose qui a tout de même la couleur de l'espoir.

K.Mizar

P.-S. – En relisant ce texte, surprise et remords d'avoir manqué de citer tous les noms des artisans de toutes ces découvertes. Il est vrai que je ne saurais sans regrettable omission les citer tous. Alors je n'en citerai qu'un. Ce siècle fut celui d'Albert Einstein (1879-1955).

## MAL DE MER...

Dans un de ses romans ("Une ville flottante", 1871), Jules Verne raconte une traversée transatlantique à bord du *Great Eastern*, alors le plus grand paquebot du monde. Le chapitre XXIII se termine sur le passage suivant:

"Pour moi, je passai sur le pont les premières heures de la nuit. La mer se soulevait et annonçait du mauvais temps, bien que le ciel fût encore admirable. Aussi le roulis commençait-il à s'accroître. Couché sur un des bancs du rouffle, j'admirais ces constellations qui s'écartelaient au firmament. Les étoiles fourmillaient au zénith, et bien que l'oeil nu n'en puisse apercevoir que cinq mille sur toute l'étendue de la sphère céleste, ce soir-là, il eût cru les compter par millions. Je voyais trainer à l'horizon la queue de Pégase dans toute sa magnificence zodiacale, comme la robe étoilée d'une reine de féerie. Les Pléiades montaient vers les hauteurs du ciel, en même temps que ces Gémeaux qui, malgré leur nom, ne se lèvent pas l'un après l'autre, comme les héros de la Fable. Le Taureau me regardait de son gros oeil ardent. Au sommet de la voûte brillait Véga, notre future étoile polaire, et non loin, s'arrondissait cette rivière de diamant qui forme la Couronne Boréale. Toutes ces constellations immobiles semblaient, cependant, se déplacer au roulis du navire, et pendant son oscillation, je voyais le grand mât décrire un arc de cercle, nettement dessiné, depuis  $\beta$  de la Grande Ourse, jusqu'à Altair de l'Aigle, tandis que la Lune, déjà basse, trempait à l'horizon l'extrémité de son croissant."

Selon le narrateur, la scène se passait dans la nuit du 5/6 avril 1867, vers 23 heures (heure locale) et une forte tempête se préparait sur l'Atlantique. Le 5 avril à midi (temps solaire vrai), le *Great Eastern* se trouvait, toujours selon le narrateur, par  $41^{\circ}41'11''$  de latitude Nord et  $58^{\circ}37'$  de longitude Ouest. On admettra par la suite que la position approchée du paquebot le 5 avril à 24 heures était  $41,45^{\circ}\text{N}$  et  $60^{\circ}\text{W}$ . Au demeurant, la longitude importe peu puisque seul le temps local nous intéresse.

Cette description du ciel nocturne pose un intéressant problème littéraire. On sait qu'en avril 1867, Jules Verne s'embarqua effectivement avec son frère Paul sur le *Great Eastern*, à destination de New York. Au cours de cette traversée, il tint un journal dont il se servit par la suite pour la rédaction de son roman. On peut donc raisonnablement supposer qu'il ait pu effectivement observer le tableau nocturne du chapitre XXIII. D'autre part, en 1867, la famille Verne était installée depuis quelque temps au Crotoy, sur la Baie de Somme. Il est vraisemblable que notre auteur, par ailleurs familier de la navigation de plaisance, ait aussi occasionnellement observé le ciel et appris à connaître les étoiles.

Cependant, ce passage a de quoi laisser perplexe le lecteur tant soit peu averti des choses de l'astronomie. En effet, alors qu'il est allongé sur un des bancs du pont promenade, le narrateur dit observer la queue de Pégase à l'horizon (sans préciser de quel horizon il s'agit) et Vega brillant "au sommet de la voûte". Il note également qu'Altair de l'Aigle est visible. Tout cela est très cohérent... à la date près car le narrateur décrit en fait un ciel d'août à la tombée de la nuit. Au début du printemps, Vega ne culmine qu'au petit matin, juste avant le lever du Soleil.

Mais d'autre part, le narrateur dit observer les Pléiades montant "vers les hauteurs du ciel, en même temps que [les] Gémeaux" et il ajoute: "Le Taureau me regardait de son gros oeil ardent." Cette description est tout à fait plausible (Pégase serait alors en train de se coucher à l'horizon Ouest) mais encore une fois la date n'est pas cohérente car il s'agit maintenant d'un ciel d'hiver, non de printemps. En outre, Véga ne pourrait être observée à la position rapportée en même temps que le Taureau, les Pléiades et les Gémeaux. Par contre, Capella serait proche de sa culmination à une hauteur de  $83,45^{\circ}$  pour la latitude considérée. Jules Verne aurait-il alors confondu Vega et Capella?

Il y a plus inquiétant. On peut en effet s'étonner que le narrateur ait encore eu la force d'admirer le ciel nocturne alors qu'allongé sur son banc, il voyait le grand mât du *Great Eastern* balayer un arc de cercle dont les extrémités passaient par  $\beta$  Ursae Majoris et  $\alpha$

Aquilae. Pour mesurer cet arc, on peut opérer sur un globe céleste, voire sur un globe terrestre, en mesurant l'écart angulaire avec une paire de compas. On peut aussi appliquer une formule très simple donnant la distance angulaire  $d$  séparant deux astres de coordonnées équatoriales  $\alpha_1, \delta_1$  et  $\alpha_2, \delta_2$  connues:

$$\cos d = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$$

Si on retient pour le calcul les coordonnées *approchées* suivantes pour les deux étoiles:

$$\beta \text{ UMa} : \alpha_1 = 10\text{h } 59\text{m soit } 165^\circ, \delta_1 = + 56^\circ 39'$$

$$\alpha \text{ Aql} : \alpha_2 = 19\text{h } 48\text{m soit } 297^\circ, \delta_2 = + 8^\circ 44'$$

on trouve que le grand mât décrivait ce soir là un arc de  $82^\circ$  d'amplitude. On peut alors légitimement se demander comment le narrateur pouvait bien rester allongé sur son banc, même lesté d'une quantité considérable de comprimés anti-mal de mer. En fait, il est à peu près impensable qu'un navire comme le *Great Eastern* (un bateau à roues de surcroît) ait pu accuser ... et supporter une gîte de plus de  $40^\circ$ . Par contre, une telle gîte est possible, bien qu'assez exceptionnelle pour une petite unité dotée d'une quille bien lestée pour le rappel.

Que faut-il penser de tout cela? Jules Verne, en composant ce nocturne, se rémémorait probablement le spectacle de ciels qu'il avait pu observer en Baie de Somme: on sait que le roman fut rédigé en 1871 alors qu'il était mobilisé comme garde-côte au Crottoy. Il n'est pas impossible que le détail du mât balayant un immense arc de cercle sur le fond du ciel corresponde à une observation qu'il aurait effectivement faite à bord de son bateau, le *Saint Michel* (une simple chaloupe de pêche, qui aurait quand même été bien secouée). Les incohérences de la description montrent qu'il ne se référerait sûrement pas au journal qu'il avait tenu à bord du *Great Eastern* voguant vers New York. Toutefois, il a pu effectivement contempler le croissant de la Lune se couchant sur l'océan, mais seulement à partir du 6/7 avril, ou plus probablement dans la soirée du 7/8 avril (croissant âgé d'environ 70 heures, la Nouvelle Lune ayant eu lieu le 4 avril 1867 vers 22:00 UT).

Alors pourquoi de telles incohérences chez un auteur réputé pour son souci de rigueur scientifique? En fait, ce passage est typique de la technique de composition de l'auteur qui aime conclure un chapitre sur une description ou un détail insolite qui viennent élargir la vision du lecteur et le dégagent provisoirement de l'intrigue. Ainsi, pour nous libérer de l'atmosphère de plus en plus pesante qui plane à bord du *Great Eastern*, Jules Verne tente de nous faire partager l'émotion ressentie devant la sublime beauté d'un ciel pur constellé d'étoiles, comme on peut en observer à l'approche d'un front. La description se veut poétique et l'auteur multiplie à cet effet les images (et même les clichés): les constellations qui *s'écartelaient* au firmament comme autant de quartiers d'un écu, la queue de Pégase dans sa *magnificence zodiacale*, *comme la robe étoilée d'une reine de féerie* (pourtant, la région est plutôt pauvre en étoiles brillantes), la Couronne Boréale comparée fort justement à une *rivière de diamants*... Il n'est plus question ici de nous donner une leçon d'astronomie. Rien d'étonnant donc si ce nocturne est un souvenir recomposé dans lequel l'auteur mélange allégrement un ciel d'hiver et un ciel d'été. C'est un procédé somme toute classique en littérature.

Pourtant on note aussi dans ce passage un souci pédagogique typiquement vernien, l'irrésistible besoin d'insérer chaque fois qu'il se peut (et parfois de façon un peu agaçante) le détail instructif destiné à l'édification du lecteur. Ainsi, Verne ne peut s'empêcher de rappeler que 5000 étoiles sont supposées être visibles "sur toute l'étendue de la sphère céleste", détail un peu incongru dans une description qui se veut poétique. Alors entre Capella dont il y a peu (sinon rien) à dire et Véga, "notre future étoile polaire...", le choix fut vite fait. L'occasion de "faire instructif" était trop belle. On lui pardonnera donc d'avoir pris quelque licence avec la réalité astronomique car c'était pour la bonne cause.

Jacques Vialle

# Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

**LE QUARK ET LE JAGUAR**, voyage au coeur du simple et du complexe par Murray Gell-Mann, traduit de l'américain par Gilles Minot ; 444 pages ; éd Albin Michel 1995 (150 F)

NOTE DE LA REDACTION : "*Un grand livre par un des plus grands physiciens vivants*" écrivait Roland Omnès dans **La Recherche** à propos de cet ouvrage. Nous avons été plusieurs aussitôt à nous plonger dans ce gros livre. Avec des réactions diverses qui ne se contredisent pas mais donnent des éclairages assez différents pour qu'il soit instructif de les confronter, en attendant, peut-être, une synthèse...

## UN LIVRE AMBITIEUX

Ce livre a l'ambitieux dessein de présenter une vision scientifique cohérente de l'ensemble de l'Univers, des particules élémentaires à l'homme et jusqu'aux sociétés humaines, du plus simple au plus complexe. Qui, mieux que le père des quarks, pouvait nous parler de la quête de la simplicité par la physique fondamentale ! Cet exposé clair qui démystifie les faux paradoxes et autres "calembredaines" nous conduit en douceur jusqu'aux derniers développements de la mécanique quantique des champs unifiée de toutes les particules et de toutes les forces.

A l'opposé, l'Auteur s'attaque à l'étude des systèmes adaptatifs complexes à l'oeuvre dans des processus aussi divers que l'apparition de la vie, l'évolution biologique, l'apprentissage de la pensée chez les animaux et les hommes, l'évolution des sociétés humaines, l'utilisation de logiciels informatiques pour faire des prédictions et en déduire des stratégies... Il montre comment chercher des règles simples valables dans tous les cas pour mesurer la complexité et rendre compte du fonctionnement de ces systèmes adaptatifs. Bien des pistes et des résultats proviennent des travaux du SFI, l'Institut (très) pluridisciplinaire de Santa Pé, au Nouveau Mexique (USA) pour lequel l'Auteur a un grand attachement.

De grandes questions se posent pour comprendre comment les particules élémentaires ont finalement pu produire les systèmes adaptatifs complexes. Comment la simplicité et la régularité de l'Univers primordial ont-elles donné naissance aux conditions intermédiaires entre l'ordre et le désordre nécessaires à l'émergence et à l'évolution des êtres vivants ? Comment lois fondamentales et hasard interagissent-ils pour construire progressivement les systèmes complexes ? Comment le hasard, nécessaire à l'évolution, est-il issu de l'indéterminisme quantique ? Comment établir la flèche du temps, théâtre de l'émergence de la complexité ?

En conclusion et dans un cadre qui n'est plus strictement scientifique, l'Auteur s'interroge sur l'avenir de l'ensemble de la biosphère à la lumière de son étude de l'évolution des systèmes adaptatifs complexes. Comment envisager de la façon la plus rationnelle la préservation des espèces animales et végétales ? Comment pouvons-nous influencer l'évolution des sociétés humaines en luttant contre les particularismes destructeurs tout en préservant la richesse de la diversité des cultures ? Voilà de quoi nourrir une large réflexion sur nos responsabilités.

Annie Laval

## QUELQUES EXTRAITS DE PRESSE

*"Si le contenu est foisonnant, le style est si limpide et la traduction si bonne que tout paraît facile... L'exposé que nous donne Gell-Mann de la théorie des cordes est un véritable tour de force, quand on voit de quelles subtilités chaque mot est chargé sous l'apparente aisance, pour exprimer l'essentiel."*

Roland Omnès (**La Recherche**, octobre 1995, p.131)

*" Il est remarquable que l'Auteur place au premier plan de son analyse les récentes tentatives de définition de la complexité... Cette leçon de science ouverte, modeste et pourtant ambitieuse, soucieuse de comprendre, mais aussi de protéger et de préserver, s'adresse à tous..."*

Jean-Paul Delahaye (**Pour la Science**, novembre 1995, p.191)

## UNE LECTURE DECEVANTE

Les Américains aiment commencer un exposé ou même un discours par une anecdote bien choisie en guise d'introduction. Mais lorsque anecdotes et petites histoires se multiplient dans l'exposé, comme c'est ici le cas, on finit par s'y perdre ou, en tout cas perdre son temps quant à une lecture sérieuse. N'est-ce pas un effet délétère de la composition des écrits "au traitement de texte" ?

Une autre remarque : de très nombreux scientifiques américains sont cités dans ce livre, tous n'étant pas universellement connus – des notes informatives auraient été bien venues – alors que ni de Broglie ni Aspect ne sont cités. La vision de Gell-Mann sur le monde des physiciens n'est-elle pas un peu limitée à ceux qui gravitent autour du Santa Fé Institute qu'il a créé ?

Serge Pelat

## LUMIERE SUR LE CHAOS

Comprendre comment, à partir de la structure finalement très simple de la matière, on observe une remarquable et complexe diversité des formes des êtres vivants et des grandes structures de la nature, planètes, étoiles et amas d'étoiles, galaxies et amas de Galaxies, etc , il n'est pas de plus beau sujet. On devine la jubilation d'un savant tel que Gell-Mann, entouré de ses amis et collaborateurs du SFI (Santa Fé Institute) qu'il a créé et consacré à l'étude de la simplicité et de la complexité. Compétence indéniable de l'inventeur des quarks à nous présenter QED, l'électrodynamique quantique, comme exemple typique de ce qui est fondamental ; d'ailleurs il rejoint ce qu'en disait, encore mieux que lui, Richard Feynman, dans son chef d'oeuvre **Lumière et matière : une étrange histoire**.

Par contre, ne reste-t-il pas à la surface du sujet lorsqu'il tente de définir (ou même de mesurer) la simplicité d'une définition par la brièveté du programme algorithmique qui l'exprime. Exemple qui montre le souci de l'Auteur de puiser dans tous les domaines : la conjecture de Goldbach qui énonce, en arithmétique, que tout nombre pair supérieur à 2 est la somme de deux nombres premiers. Si elle est fautive, soit alors  $g$  le plus petit entier pair supérieur à 2 qui n'est pas somme de deux nombres premiers ; sa définition qui vient d'être donnée tient en deux lignes alors que son calcul mériterait sûrement un très long traitement, même avec une puissante machine. Mais ce bon exemple ne montre-t-il pas la vanité de ces recherches sur simplicité et complexité ?

J'ai trouvé plus de profit dans les pages sur la mécanique quantique. Des remarques générales très pertinentes : "*La mécanique quantique fait violence à notre intuition ou plutôt c'est la manière dont s'est édifiée notre intuition qui ignore le comportement quantique.*". Ne pas manquer le chapitre 11 : "*Un regard contemporain sur la mécanique quantique.*".

Dans son Epilogue, l'Auteur rappelle que son livre n'est pas un traité mais que sa fonction principale est de stimuler la réflexion et la discussion entre ses lecteurs. La diversité des réactions des lecteurs prouve que le livre atteint son but. Tous les premiers chapitres qui concernent les systèmes adaptatifs complexes m'ont à la fois intéressé et déçu ; j'en attendais plus. Il m'a semblé que la vision de l'histoire des sciences qu'avait Gell-Mann était d'un champ trop limité (je corrige aussitôt cette critique en reconnaissant que ma propre vision de l'histoire des sciences est, elle aussi, fort limitée).

La lecture du livre est embarrassée par maintes remarques ou anecdotes qu'on peut estimer superflues ou peu éclairantes. On aurait préféré la brièveté ou la densité d'un grand écrivain. Faut-il accuser les difficultés de la traduction ? La remarque : "*Il est utile de considérer le chaos comme un mécanisme susceptible d'amplifier au niveau macroscopique l'indétermination inhérente à la mécanique quantique.*" (p 44) est un bon exemple de celles qui font réfléchir. Alors que : "*Il est possible de remonter la trace de la flèche thermodynamique du temps jusqu'à la condition initiale simple et à la condition finale d'indifférence totale dans la formule quantique pour les probabilités des histoires décohérentes à gros grain de l'Univers*" (p 252) laissera plus d'un lecteur dans l'inquiétude. Mais il est vrai que Racine lui-même a laissé dans **Polyeucte** des vers qui font rire les potaches.

J'en reviens aux réflexions de Gell-Mann sur hasard et indétermination quantique : "*Puisque rien ne peut être assuré avec une précision absolue, le chaos engendre une indétermination effective au niveau classique qui vient s'ajouter à l'indétermination de principe de la mécanique quantique. L'interaction entre ces deux sortes d'imprédictibilité est un aspect fascinant et encore trop peu étudié de la physique contemporaine.*" (p.43)

Pour l'avoir clairement dit, j'oublie les lourdeurs du livre de Gell-Mann.

G.W.

**HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE** par André et Georges Delobbe ; publication de l'Ecole Moderne Française, 06376 Mouans-Sartous Cedex.

Sans être une histoire universelle, ce livre de 48 pages est simple et essentiel : la densité de ses informations, la variété des sources bibliographiques, la pertinence de ses schémas offrent au lecteur un tour du monde de l'astronomie dans l'espace et dans le temps. Si une histoire de l'astronomie n'échappe pas à l'évocation de l'astrologie, là les Auteurs ont voulu une évocation large des sciences (ou de leurs prémisses) en évoquant l'astrométrie, l'astrophysique, la mesure du temps, la géographie nautique sans oublier les biographies indispensables (Ptolémée, Copernic, Galilée, ...).

Plus qu'une histoire événementielle, cet ouvrage présente une histoire des idées sur l'Univers au cours des siècles et parmi plusieurs civilisations ; la présentation des cosmogonies permet au lecteur de suivre l'évolution de la pensée en astronomie et d'adhérer à la théorie actuelle du Big Bang jusqu'à ce qu'une nouvelle théorie vienne améliorer les précédentes.

C'est un livre d'une réelle portée pédagogique qui peut à la fois conseiller l'animateur en astronomie, le professeur de sciences et l'adolescent qui se passionne pour le cosmos.

Michel Royer (planétarium du CES G.Sand, Châtelleraut)

**LES OREILLES DANS LES ETOILES** par Michel Boujenah, Daniel Kuntz et Jacques Lanzmann avec la collaboration de Florence Chambouleyron pour les textes et de Michel Mussau pour la musique ; 144 pages le livre contient un disque CD ; éditions Ramsay 1995 (135 F).

L'heureuse collaboration d'un astrophysicien, Daniel Kuntz, avec journalistes, comédiens et musiciens nous donne un joli livre relié au texte simple et clair accompagné d'un disque pour les jeunes lecteurs qu'un texte sérieux rebuterait. Boujenah parle clairement, assez doucement et la musique d'accompagnement est douce. Une réussite.

**DES PLANETES AUX GALAXIES** par J-P. Verdet et C. de Bergh ; un volume de 96 pages, format 15/21 cm, couverture souple illustration en 4 couleurs, collection "en savoir plus" ; éd Hachette éducation, 1995 (59 F).

La présentation du livre est attrayante en mariant texte et illustrations en couleurs. Comme les autres livres de la collection, ils peuvent être consultés par les enfants dès 10 ans. Le livre comporte un lexique, un index et des pages encyclopédiques à la portée des jeunes élèves.

**ROBERT OPPENHEIMER** par Michel Rival ; collection "Grandes Biographies", 292 p. ; éditions Flammarion 1995 (125 F)

Publier en 1995 une biographie de Robert Oppenheimer, c'est nous faire revivre un grand moment de la recherche en Physique nucléaire et un grand drame, un des plus grands dans un siècle qui n'en a pas manqué. C'est aussi nous proposer une réflexion d'actualité sur les essais nucléaires grâce auxquels la politique française s'illustre à sa façon. Le livre de Michel Rival, passionnant comme un bon roman, paraît donc à son heure.

Robert Oppenheimer est né en 1904 à New York dans une famille juive d'origine allemande qui avait fait fortune dans le commerce des tissus. Milieu ouvert, agnostique et cultivé. Le jeune homme fait de bonnes études, qui l'orientent d'abord vers la minéralogie. Alors que ses parents pensent plus aux dollars qu'aux études, le garçon, qui est assez solitaire, considère celles-ci comme un refuge où se satisfait son goût de l'abstraction. Il entre à Harvard, est Bachelor of Arts en chimie en 1925.

Commence alors cette décennie 1925-35 qui sera décisive dans l'histoire de la physique de la matière et au cours de laquelle, de Cambridge (Grande Bretagne) à Göttingen, Oppenheimer se frottera aux plus grands noms de la physique du siècle, Rutherford, Bohr, Born, Heisenberg, ... Il deviendra - ce qui était sa vocation - un physicien théoricien. Le séjour à Göttingen est particulièrement fructueux pour lui. Ce lieu, dit-il, est "UNE FONTAINE DE SAGESSE QUANTIQUE". Il y connaît un complet épanouissement comblé par les découvertes des uns et des autres, à la cadence d'un résultat nouveau chaque jour. Heisenberg, Born et Jordan ont alors réussi à présenter la mécanique quantique

dans un formalisme matriciel qui fait écho aux travaux de Louis de Broglie et de Schrödinger. Le grand pas est celui de l'introduction du probabilisme à l'échelle quantique. Chaleureusement intégré dans ce groupe de chercheurs, Oppenheimer reconnaît : "*J'acquis graduellement le sens de la physique et, plus graduellement encore, un goût pour elle; ce qui ne se serait vraisemblablement pas produit si j'étais resté seul enfermé dans une chambre*".

En 1926, Oppenheimer pense qu'il y a une probabilité, même si elle est très faible, de déstabiliser l'atome d'hydrogène : grande découverte de ce qui sera plus tard appelé "effet tunnel". Il soutient alors sa thèse de doctorat sur la théorie quantique des spectres continus. En 1928, il rejoint le Californian Institute of Technology, le fameux CalTech, où il pourra poursuivre ses recherches, où il fait la connaissance de Millikan (qui en 1911 avait découvert la charge de l'électron) et de Lyman, le spécialiste de spectrographie. Avant de prendre ses fonctions de professeur à Berkeley, un dernier voyage le conduit à Utrecht chez Ehrenfest puis à Zurich chez Wolfgang Pauli qui "*n'enseignait pas à la manière courante, il initiait*". Oppenheimer a vraiment parfait sa formation au contact avec les meilleurs savants de son temps.

Sa carrière de chercheur et de professeur se présente alors sous les meilleurs auspices. Par ailleurs, c'est tout juste si l'homme Oppenheimer commence en 1936 à prendre conscience de la gravité des problèmes de la société contemporaine ; il fait la connaissance de Haakon Chevalier, professeur de littérature à Berkeley et défenseur des droits civiques. C'est au moment où la défense des Républicains espagnols requiert son attention que la question de la fission nucléaire et la possibilité de "réactions en chaîne" est discutée dans le milieu des physiciens. Einstein écrit sa fameuse lettre à Roosevelt en octobre 1939. L'Histoire, avec un grand H, prend un tournant qui va entraîner Oppenheimer dans son tourbillon.

Face au péril nazi, il aurait été suicidaire de ne pas mettre tous les moyens de l'Amérique dans les recherches sur la bombe comme le demandait Einstein lui-même. Encore fallait-il trouver les hommes compétents et capables d'organiser un tel travail. En Allemagne aussi, on devait chercher. La chance voulut que le savant théoricien Oppenheimer sut se transformer en génial ingénieur alors que son symétrique Heisenberg resta professeur théoricien (il faut dire aussi que les conditions de travail sous la botte nazi ne pouvaient être bonnes). En tout cas, de son côté, Oppenheimer sut s'adapter à toutes les tâches de la direction d'une équipe qui, à Los Alamos, dans ce coin perdu du Nouveau Mexique, réunit plus de 5000 personnes dont 1100 chercheurs. La folie raciste de Hitler, meurtrière en Europe, eut aussi pour conséquence l'afflux en Amérique des savants les plus experts et augmenta donc les chances de réussite des recherches américaines. Le 2 décembre 1942, Enrico Fermi et Compton réalisaient à Chicago la première réaction en chaîne expérimentale. Le 25 février 1943, Oppenheimer est nommé responsable du développement et de la fabrication finale d'un instrument de guerre.

Essayons de comprendre, de sentir, le véritable traumatisme qu'a dû provoquer ce changement pour Oppenheimer : passer du climat de la recherche théorique avec ce qu'elle comporte d'échanges entre laboratoires différents et par conséquent l'absence de secret aux contraintes extrêmes des recherches de guerre avec les risques de l'espionnage de la part des nazis et sans doute aussi de la part des Russes. Le 4 juillet 1944, il peut annoncer aux officiels la découverte de la fission spontanée du plutonium. Alors la grande question se pose: faut-il poursuivre la fabrication de la bombe? En Allemagne, les recherches dans ce domaine ont été abandonnées (au profit de la construction des fusées et autres missiles). Szilard veut persuader Roosevelt d'abandonner la fabrication de la bombe dont l'utilisation sur le Japon risque de provoquer la recrudescence de la course aux armements, en particulier avec Staline. Mais le 2 avril 1945, Roosevelt meurt. Truman autorisera l'essai au Nouveau Mexique (16 juillet) et la bombe sera lancée sur Hiroshima le 6 août.

Fallait-il lancer la bombe ? Fallait-il ensuite lancer la recherche sur la bombe H, la superbombe à hydrogène ? Oppenheimer, d'abord réticent, s'y rallie. Est-ce faiblesse de caractère comme certains l'insinuent. On met au compte de son caractère influençable le fait qu'il ait fréquenté des personnes plus ou moins liées à des mouvements noyautés par les communistes. On le jugera trop indifférent envers les exigences de sécurité. Le 29 juin 1954, le Comité de l'Energie Atomique déclare que Oppenheimer "*ne peut plus bénéficier de la confiance du gouvernement*". Il deviendra alors directeur de l'Institut des Etudes avancées de Princeton. Son honneur de savant est intact mais l'homme a été profondément blessé par les attaques et la suspicion des "patriotes" à la Mac Carthy.

Comment lire aujourd'hui le livre de Michel Rival sans rapprocher la décision historique de Truman (bombarder Hiroshima en 1945) et celle de Chirac (relancer en 1995 les essais nucléaires) ? Les deux situations sont certes sans commune mesure. Mais, dans les deux cas, on se trouve devant le même fait : la société a confié à des physiciens et à des techniciens la tâche de mettre au point une machine infernale ; la tâche réalisée, la gent positive décide de la mise en pratique. Le grand drame du siècle n'est-il pas là : d'un côté l'admirable et ardente curiosité qui anime les chercheurs de toutes les disciplines pour faire avancer le savoir de l'espèce humaine et à côté le péril de mettre ce savoir et le pouvoir qui en résulte entre des mains pas forcément dignes. Ce que Robert Oppenheimer devait ressentir, au lendemain du massacre d'Hiroshima, quand il écrivait à un de ses anciens maîtres : "*Vous comprendrez que cette entreprise n'a pas été réalisée sans appréhensions ; elles pèsent lourd sur nous tous aujourd'hui quand le futur, qui a tant d'éléments de promesse, se trouve à deux pas seulement du désespoir.*"

G.W.

## DANS LES REVUES

**Pour la science** – Novembre 1995 : "Le vaisseau spatial du XXI ème siècle" par Freeman Dyson (miniaturisation, propulsion ionique au xénon, handicap des vols habités).

Décembre 1995 : "A la recherche d'autres mondes" par Jean Schneider.

Février 1996 : "Hipparcos, premiers résultats" par Lucienne Gouguenheim

**La Recherche** – Novembre 1995 : "Effet tunnel : plus vite que la lumière" par Aephraïm M. Steinberg.

Décembre 1995 : "L'enseignement des sciences est à repenser" par Claude Allègre.

Janvier 1996 : "Neutrinos du Soleil, rendez-vous avec la Lune" par François Nanucci "Embryons d'étoiles dans M.16" par Jean-Marc Huré ; "Le Soleil" par Jean-Marc Huré et Jean-Paul Zahn (dans la rubrique "bac to basics" ici spécialement réussie).

Février 1996 : "Observatoire infrarouge en orbite" par François Boulanger ; "La destruction des montagnes" par Jacques Malavielle et Michel Seranne.

## LECTURES EN COURS

Ouvrages dont une analyse sera publiée ultérieurement mais dont l'intérêt mérite qu'ils soient cités sans tarder :

**Astronomie et Astrophysique**, cinq idées pour explorer et comprendre l'Univers , par Marc Seguin et Benoit Villeneuve ; 550 p. relié ; éd Masson 1995.

**Le rayonnement cosmologique**, trace de l'Univers primordial par M.Lachièze-Rey et G.Gunzig ; collection "de caelo", 216 p. ; éd Masson 1995.

**La mathématisation du réel** par Giorgio Israël ; collection "science ouverte" ; 364 p. éd Seuil 1996.

**La formation de la pratique scientifique**, le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820) par Christian Filoppe ; collection "Textes à l'appui", 346 p. éd La Découverte 1996.

**Hubble** l'inventeur du big bang, par Igor Novikov et Alexander Sharov ; traduit de l'anglais par Vincent Fleury ; collection "Figures de la science", 304 p. éd Flammarion 1995 (140 F).

**Pierre Curie** par Anna Hurwic ; préface de P.G.de Gennes ; collection "Figures de la science" ; éd Flammarion 1995 (139 F).

**La fin des certitudes** par Ilya Prigogine ; 224 p. ; éd Odile Jacob 1996 (140 F).

---

Abonnés des CAHIERS CLAIRAUT, si votre abonnement était arrivé à son terme avec le N°72, pensez sans plus tarder à votre réabonnement, le présent n°73 risquerait d'être le dernier à vous parvenir.

---

## A PROPOS DE L'ŒUVRE ASTRONOMIQUE DE CLAIRAUT.

par Guy BOISTEL

(Centre François Viète, Laboratoire d'Histoire des Sciences et des Techniques  
Faculté des Sciences et des Techniques de Nantes).

Mon mémoire de D.E.A. d'Histoire des Sciences et des Techniques, soutenu le 10 Octobre 1995, avait pour sujet les controverses autour du problème des trois corps et un exposé plus détaillé que couramment donné dans la littérature, des théories de la Lune et des comètes de Clairaut. J'avais proposé ce sujet à M. Jacques Gapaillard, mon directeur de recherches, lassé de me trouver devant un manque presque total de précisions sur l'œuvre de notre Clairaut, à force de lire toujours les mêmes généralités, banales à force d'être ressassées, concernant une relation de ses travaux : figure de la Terre, théorie de la Lune, comète de Halley. Les difficultés techniques n'expliquent pas tout. Il suffit de voir la bibliographie au XX<sup>e</sup> siècle, maigre en comparaison de celles concernant d'autres mathématiciens du XVIII<sup>e</sup> siècle, et qui est révélatrice d'un manque d'intérêt injustifiable pour ce scientifique et son œuvre, auquel on rend souvent hommage avant de passer à autre chose — ce n'est pas vrai pour Danjon, pour Pannekoek ; mais les références sont peu nombreuses — Les seules études savantes sont dues surtout à feu Pierre Brunet (biographie posthume), à René Taton (études plutôt biobibliographiques), et John Greenberg pour la géodésie et l'aspect histoire des mathématiques<sup>(1)</sup>.

En quoi cet homme et ce savant est-il important dans l'histoire et l'essor de la mécanique céleste au XVIII<sup>e</sup> siècle? Pourquoi les polémiques avec Buffon, d'Alembert? Quels rôles ont joué ces hommes, momifiés et statufiés de la littérature française ? Telles sont les questions qui ont animé ma pensée lors de mes recherches, et qui continuent à me travailler, virevoltant dans mon esprit et s'intégrant dans mes recherches pour la thèse de doctorat (la théorie de la Lune au XVIII<sup>e</sup> siècle).

La relecture récente de l'article de K.Mizar paru dans nos Cahiers Clairaut (1991, C.C. n°55) m'a fait réagir, après toutes les recherches effectuées pour la rédaction de mon mémoire. Synthétique par nécessité, le texte de K.Mizar laisse apparaître quelques contrevérités et imprécisions caractéristiques d'une restitution de sources secondaires, dont souffre le souvenir de Clairaut depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Il n'est qu'à lire les pages 130 à 134 de l'ouvrage récent *Le chaos dans le système solaire*, d'Ivars Peterson — ouvrage par ailleurs passionnant — pages consacrées à la théorie de la Lune. Dans ces pages, la plupart des interprétations de l'auteur sont particulièrement discutables et correspondent mal aux faits tels qu'on peut les établir en étudiant la correspondance entre Euler, d'Alembert et Clairaut, et les mémoires et textes divers de l'époque. Ayant épluché la plupart des mémoires de Clairaut (concernant ses études autour de la loi de l'attraction universelle) et effectué un dépouillement systématique des mémoires et autres articles parus dans le Journal des Sçavans, le Mercure de France, et l'essentiel de sa correspondance avec Gabriel Cramer<sup>(2)</sup> et Leonhard Euler<sup>(3)</sup>, il m'est possible d'apporter quelques précisions au sujet des recherches théoriques de Clairaut en astronomie. Il est bien entendu que je ne pourrais pas non plus ici entrer dans les détails de ses recherches. Peut-être et c'est un vœu que je forme, à l'occasion d'une série d'articles dans nos cahiers, pourrais-je revenir sur ses travaux ?

Une remarque pour terminer cette introduction. L'article de K.Mizar est en partie à l'origine de mon désir de travailler sur Clairaut : je l'en remercie vivement. Ses articles sont toujours très intéressants, très instructifs et donnent toujours envie d'en savoir plus. Dans ce cas précis, c'est réussi!

---

<sup>1</sup>. Greenberg, J.-L., 1995, *The problem of the Earth's shape from Newton to Clairaut : the rise of mathematical science in Eighteenth-Century Paris and the fall of "normal" science*, Cambridge University Press. (781 pages ; 60 £)

<sup>2</sup>. Speziali, Pierre, 1955, *Une correspondance inédite entre Clairaut et Cramer*, Rev. Hist. Sci., VIII, pp. 193-237.

<sup>3</sup>. Juskevic, A., Taton, R., 1980, *Leonhard Euler, Correspondance avec A.C. Clairaut, J. d'Alembert et J.L. Lagrange*, Opera Omnia, series quarta A, volume V : *Commercium epistolicum*. Birkhauser, Bâle.

## QUELQUES COMPLEMENTS ET COMMENTAIRES A L'ŒUVRE ASTRONOMIQUE DE CLAIRAUT - I

### La théorie de la Lune : premières recherches et première controverse

Les premières recherches présentables de Clairaut sur le problème des trois corps datent de 1743 avec le mémoire *De l'Orbite de la Lune dans le système de M. Newton*<sup>(4)</sup> : il pose le problème et fait une critique des travaux de John Machin, de la Royal Society. Clairaut y donne déjà les expressions des forces perturbatrices mais il n'a pas encore trouvé le moyen d'exprimer le rayon-vecteur de l'orbite de la Lune en tenant compte de ces forces. A cette époque, Clairaut est au courant des travaux réalisés sur la matière par MacLaurin et Bernoulli, travaux qui ne déboucheront sur rien de concret. Ces premiers travaux engagent Clairaut dans une polémique très courtoise avec un ami très proche et collègue du mathématicien suisse Gabriel Cramer, Jean-Louis Calandrin<sup>(5)</sup>, professeur de mathématiques puis de philosophie à Genève, avant d'« être perdu pour les sciences » (cit. Cramer) et de devenir un bon administrateur.

Cette première polémique porte sur la prise en compte ou non de l'excentricité de l'orbite lunaire dans les équations à intégrer pour obtenir le mouvement du périhélie (ou de l'apogée), et sur les causes des erreurs de Newton dans la matière. Cette courtoise polémique prendra fin quand Clairaut révisera sa théorie en 1747-48. Mais elle a une réelle influence sur les travaux de Clairaut : dans ses premières recherches, en 1743, il ne semble faire aucun cas de l'excentricité de l'orbite lunaire. En 1747, après les quelques échanges épistolaires avec Calandrin, via Cramer — on ne connaît qu'une seule lettre directe entre Calandrin et Clairaut, et elle est datée du 19 février 1748 —, Clairaut tient compte de cette excentricité, et indique son importance dans l'expression du moyen mouvement lunaire. Il s'en fait lui-même l'écho dans une lettre adressée à Cramer le 3 juin 1749, puis dans une seconde datée du 26 juillet de la même année :

"Quant à M. Calandrin, il n'a toujours comme je vous l'ai dit rien à démêler avec moi parce que je ne trouve pas qu'une excentricité infiniment petite réduisit comme il le prétend, le mouvement des apsides à n'être que la moitié et que, de plus, la force perpendiculaire<sup>(6)</sup> au rayon qu'il a négligée entre pour beaucoup dans cette moitié du mouvement cherché que je n'avais pas pu trouver d'abord."

### Premier scandale : Clairaut propose de modifier la loi de Newton!

Ses recherches le conduisant à une incompatibilité de sa théorie avec les observations, il envisage de modifier la loi de l'attraction de Newton et lit à l'Assemblée publique du 15 novembre 1747 une partie de son premier long mémoire *Du Système du Monde dans les principes de la gravitation universelle*<sup>(7)</sup> qui va lui attirer les foudres de Buffon et, en coulisses, de Le Monnier. Buffon, dans un premier mémoire datant du 20 janvier 1748, lui reproche de compliquer la loi de Newton par l'ajout d'un terme complémentaire et de perdre la simplicité de cette loi et, à l'aide d'arguments mêlant métaphysique et mathématiques, attaque Clairaut sur le non-sens de sa proposition. C'est ce dernier point qui va être cause du mauvais climat

4. Histoire et mémoires de l'Académie Royale des Sciences (ci-après H.A.R.S.), 1743, pp. 17-32.

5. Calandrin Jean-Louis, 1703-1758. Académie de Genève. Il est l'auteur de commentaires sur la théorie de la Lune, joints au tome III de l'édition latine des *Principia...* de Newton, réalisée par les Rév. PP. Th. Le Seur et F. Jacquier, de 1739 à 1742.

6. Il s'agit d'une composante de la force perturbatrice résultant d'une décomposition sur deux axes, l'un selon le rayon de l'orbite lunaire, l'autre perpendiculaire au rayon de cette orbite, des forces s'exerçant sur la Lune, de la part de la Terre et du Soleil.

7. H.A.R.S., 1745, pp. 329-364. Ce volume ne sera imprimé qu'en 1749 ; il contient en outre, toutes les pièces de la polémique entre Buffon et Clairaut.

entre les deux hommes, au cours des années 1748 et 1749.

Dans son mémoire, Clairaut présente comme une hypothèse utile et un simple expédient mathématique, la modification de la loi de Newton par l'ajout d'un terme en  $1/\text{distance}^4$ , afin de retrouver le vrai mouvement du périhélie de la Lune. Clairaut sait très bien et il le démontre, que l'ajout d'un terme supplémentaire à cette loi serait cause d'un mouvement séculaire de la ligne des apsides ; mais Clairaut l'estime inobservable, même au bout de plusieurs siècles (c'est d'ailleurs ceci qu'on devrait lui reprocher !). Quoiqu'il en soit, Clairaut ne supporte pas que Buffon lui reproche d'avoir avancé une hypothèse invraisemblable et de mettre en doute ses capacités de "géomètre", d'autant plus qu'entre-temps, il l'avoue à Cramer, il a revu sa théorie en ne négligeant pas certains termes dans les approximations nécessaires de l'expression de la fonction perturbatrice entrant dans l'expression du rayon-vecteur. Curieusement, il donne lui-même la bonne méthode pour trouver le résultat dans son mémoire de novembre 1747 mais il ne la suit pas, n'ayant pas très envie de faire tous les calculs nécessaires (autre reproche à lui faire!). Il faut aller chercher dans les travaux de jeunesse et dans les traductions d'ouvrage anglais de Buffon, les motivations de ce dernier dans cette querelle. Avec *La statique des végétaux* de Hales traduite en 1735, et *La méthode des fluxions* de Newton traduite en 1738, Buffon se montre un newtonien convaincu, presque fanatique. Ses propres théories sont bâties sur les idées de Newton (développées dans son *Optique*) ou empruntées aux newtoniens anglais. La prise de position de Clairaut est alors une occasion pour Buffon de monter au créneau et de prendre les armes contre ceux qui veulent remettre en cause ce qui est devenu pour lui un dogme, renonçant par-là à la sobriété, à l'observation et même à la logique<sup>(8)</sup>. De plus, depuis quelques temps déjà les liens de Buffon avec les mathématiques se sont distendus : il existe chez Buffon une prédominance de l'explication verbale sur les raisonnements ou les calculs proprement mathématiques. On en trouve un lointain écho dans son *Essai d'arithmétique morale* <sup>(9)</sup>:

"[...] ceci n'est point un discours de morale vague, ce sont des vérités métaphysiques que je soumets au calcul ou plutôt à la force de la raison ; des vérités que je prétends démontrer mathématiquement à tous ceux qui ont l'esprit assez net et l'imagination assez forte pour combiner sans géométrie et calculer sans algèbre."

### Second scandale : Clairaut se rétracte!

La rétractation de Clairaut survient le 17 mai 1749, au cours de la lecture d'un mémoire où sans autre précision, il indique qu'il a trouvé le moyen de concilier théorie et observations, et ceci d'un point de vue totalement nouveau, en conservant la loi de Newton, en  $1/\text{distance}^2$ . Euler, qui était arrivé au même point que Clairaut en 1747, le presse de lui communiquer ses résultats ; il ne les obtiendra que deux ans plus tard, à l'occasion du prix proposé par lui-même et l'Académie de St-Petersbourg. D'Alembert, engagé dans une âpre compétition avec ces deux hommes, et se trouvant devant la même impasse, critique très vite ce retournement de Clairaut. La polémique entre les deux hommes allait bientôt s'envenimer, surtout du fait de d'Alembert, et durer jusqu'en 1763. Cette rétractation ne fait qu'entretenir la hargne de Buffon, qui produit plusieurs mémoires et notes, lesquelles à leur tour suscitent autant de réponses et mémoires de Clairaut. Cette vive et courte querelle ne prend fin qu'avec la publication par l'Académie, lors de l'impression en 1749 du volume de 1745, d'un avertissement de Clairaut signifiant qu'ayant revu ses travaux, toutes ces discussions sont sans objet. Ces hésitations de Clairaut, les seules survenues au cours de sa carrière scientifique, lui valurent donc de sérieuses inimitiés. Il aurait sans doute pu s'en passer s'il ne s'était pas montré aussi hâtif et quelque peu négligent. Mais la compétition était rude entre lui et d'Alembert ; leurs travaux aboutis sur la théorie de la Lune furent déposés le même jour à

<sup>8</sup>. Lire par exemple Lesley Hanks, *Buffon avant l'« Histoire naturelle »*, PUF, 1966.

<sup>9</sup>. Buffon, *Supplément à l'Histoire naturelle générale...*, tome IV, 1777, p. 68.

l'Académie, le 17 mai 1749, le jour même de la lecture de la déclaration de Clairaut!

Ainsi, dans cette première querelle intestine, et malgré ce qu'en dit Laplace<sup>(10)</sup>, les reproches de Buffon et de Le Monnier ne jouèrent aucun rôle dans la révision de ses travaux par Clairaut : il savait très bien où se situaient ses propres défaillances. Le mauvais esprit de Buffon et la remise en cause de ses capacités de "géomètre" suffisaient amplement à fâcher Clairaut. Le Monnier ne pardonnera pas à Clairaut de ne pas reconnaître une certaine influence sur son revirement, influence qui est pourtant inexistante, et n'hésitera pas à reprendre ses attaques contre Clairaut à l'occasion du retour de la comète de Halley.

Clairaut, d'Alembert et Euler verront leurs théories de la Lune<sup>(11)</sup>, trois oeuvres majeures de l'époque, publiées au cours de la décennie 1750. Cette émulation les aura obligés à développer des méthodes originales d'approximation nécessaires à la résolution de ce problème particulier de perturbations : histoire de l'astronomie et histoire des mathématiques s'entrecroisent et sont intimement liées.

### Le retour de la comète

Je ne reviendrai pas sur l'histoire du retour en 1759 de la comète de Halley que tout le monde connaît. C'est peut-être sur le rôle des personnages tels que Lalande, et Mme Lepaute que l'on peut insister. Dans son *Astronomie*, Lalande s'est attribué un beau rôle dans cette histoire ; et comme Clairaut n'était plus là pour le contredire... Dans son ouvrage *Théorie du mouvement des Comètes* de 1760, Clairaut indique lui-même les rôles qu'ont pu jouer ces personnages. Par recoupements avec d'autres sources, on peut avoir une idée de la place de tout ce petit monde.

Lalande joua un rôle très important, qu'il n'a pas eu de mal à grossir : réalisation de calculs longs et pénibles relatifs aux positions de Jupiter et de la comète au cours des trois révolutions depuis 1531, et aux calculs des forces perturbatrices, à partir de formulaires près à l'emploi fournis par Clairaut<sup>(12)</sup>. D'autre part, Lalande se fit expliquer en long et en large la théorie par Clairaut, ce qui motiva ce dernier pour aller jusqu'au bout de la tâche, et en fit des applications dès 1759 aux inégalités de Mars (applications que Clairaut qualifie de "curieuses"...), puis en 1760, pour Vénus, complétant la théorie et démontrant certains théorèmes énoncés par Clairaut. Ce dernier délégua un ensemble de calculs routiniers et simples à des "arithméticiens". Sans doute Nicole-Reine Lepaute fut-elle mandée par Lalande, les deux familles étant liées, après avoir logé au Palais du Luxembourg quelques années auparavant (vers 1753-55). Ses capacités reconnues n'avaient pas manqué de séduire Clairaut qui réclamait de l'aide, même s'il se réservait les opérations délicates et les vérifications de certains calculs. Je n'ai pas encore trouvé les informations sur les autres aides dont a pu bénéficier Clairaut (la légende voudrait que la servante de Clairaut, formée par ce dernier ait participé aux calculs. Ce n'est pas invraisemblable pour l'époque. Il suffit de voir, par exemple, les relations de complicité entre Buffon et un de ses laquais chargé de le réveiller tous les matins).

Qu'il me soit permis une parenthèse : l'origine du nom *Hortensia*, attribué à Legentil est aussi discutable et semble être aussi l'effet d'une réplique de sources secondaires, sans vérification, et fonctionnant sur un principe d'autorité. Les références consultées<sup>(13)</sup> concordent : c'est Legentil qui a ramené cette plante en 1771, mais le nom n'a pas été donné en hommage à Nicole-Reine Lepaute, bien que son troisième prénom semble être Hortense.

---

<sup>10</sup>. Laplace. *Exposition du système du monde*, 1796, livre IV, chap. V, p. 281, Fayard, 1984 : "[...] Quoi qu'il en soit, le Métaphysicien eut raison, cette fois, vis-à-vis du Géomètre qui reconnut lui-même son erreur [...]".

<sup>11</sup>. Clairaut, *Théorie de la Lune*, 1752, Saint-Petersbourg ; Euler, *Theoria motus Lunae...*, 1753, Berlin ; d'Alembert, *Recherches sur différents points importants du système du monde*, 1754, tome I, Paris.

<sup>12</sup>. Clairaut, *Théorie du mouvement des comètes*, 1760, pp. 67-69.

<sup>13</sup>. Lacroix, A., 1938, *Figures de savants*, tome IV, pp. 1-13 ; *Les voyageurs naturalistes XVII<sup>e</sup> - XVIII<sup>e</sup> siècles*, publ. du Mus. d'Hist. Nat. de Nantes, Nantes, 1992 ; Michaud, *Bibliographie universelle, ancienne et moderne*, Paris, 1843.

C'est le naturaliste Philibert Commerson (ami d'enfance de Lalande), membre de l'expédition de Bougainville et qui a lui aussi ramené l'*Hortensia*, qui aurait donné ce nom en hommage à Hortense de Nassau, sœur du botaniste prince Charles de Nassau-Siegen, son compagnon d'expédition sur le navire *L'Etoile*. Commerson est mort en 1773 à l'île Maurice (alors île de France) sans être rentré en France.

Le succès populaire que connaît Clairaut fut à la hauteur du taux d'acidité avec lequel d'Alembert l'attaqua. Clairaut dut aussi subir la mauvaise foi de Le Monnier. Cette polémique fut d'autant plus vive qu'elle se doublait de querelles entre Le Monnier et Lalande, son ancien élève mais passé au "camp adverse", celui de Lacaille, et d'une querelle sans objet entre le Chevalier d'Arcy et d'Alembert, concernant la précession des équinoxes — dans laquelle d'Arcy eut le mauvais rôle — querelles qui avaient leurs racines plusieurs années auparavant.

Je n'ai pas pour objet ici de reproduire des extraits des différents articles où Clairaut est attaqué, dans les écrits "anonymes" de d'Alembert et de Le Monnier, et où il est défendu par Lalande, d'Arcy, et peut-être Jean Baptiste Le Roy, « Homme de la société civile, non point ridicule dans les meilleures compagnies savantes ». Cela pourrait faire l'objet d'une série d'articles ultérieurs. Mais on reste effaré et dubitatif devant la piètre qualité des arguments déployés par d'Alembert et ses partisans. L'intérêt de cette polémique et de son étude réside dans les justifications que doit apporter Clairaut pour se défendre : il est obligé de clarifier ses idées, nous les faisant ainsi partager et nous permettant de nous en imprégner. Notre Alexis mettra fin dignement à cette querelle dans un article paru en juin 1762, dans le *Journal des Sçavans* ; il préférera accorder à d'Alembert une supériorité infinie plutôt que de combattre sans cesse pour « les petits domaines [des] amours propres [de d'Alembert]. »

Dans son ouvrage, *La Théorie du mouvement des comètes*, Clairaut est pleinement conscient des insuffisances de sa méthode, de l'influence des hypothèses drastiques qu'il utilise pour développer ses calculs : il néglige l'excentricité de l'orbite de la planète perturbatrice, l'inclinaison de l'orbite de la comète sur l'orbite de la planète perturbatrice (18° pour Jupiter, 19° pour Saturne), des approximations parfois drastiques. Toutefois, avec les données dont il disposait (16% d'erreur sur la masse de Saturne, éléments de la comète pour les trois précédents périhélie erronés, ceux de Halley), c'est un véritable exploit de Clairaut que d'avoir pu aller jusqu'au bout de ses calculs et de sa prévision. Il indiquera lui-même les moyens à suivre pour effectuer des calculs plus rigoureux ; mais il écrit :

"Or le prodigieux travail qu'exigerait l'exécution complète de cette seconde approximation me paraît si propre à dégoûter les calculateurs les plus intrépides, que je me trouve tout dégoûté moi-même d'entrer dans des détails trop difficiles à bien exposer pour en prendre la peine sans espérance de déterminer personne."<sup>(14)</sup>

Comme la précédente, cette polémique aura pour effet d'aiguiser le goût de la recherche et d'amener Clairaut à réviser sa théorie des comètes ; il publiera en 1762 ses *Nouvelles recherches sur le mouvement des Comètes* que je n'ai pas encore étudié.

Une remarque encore : l'historien de l'Académie écrit en 1760, en présentant l'ouvrage cité, que Clairaut envisage de mettre sur le compte de la résistance de l'éther les décalages entre les prévisions et l'avance de la comète. Il faut noter que Clairaut ne fait aucune remarque de ce genre et qu'il est loin de l'envisager ! En 1762, il montrera même (d'après la partie Histoire de H.A.R.S. et faisant référence à Lalande) que « la résistance de l'éther n'est pas sensible, même pour la comète, et [que] cette cause n'entre point dans l'inégalité des périodes qu'on observe. » Ainsi Clairaut enterre définitivement le sujet...

---

<sup>14</sup>. Clairaut, *Théorie des Comètes...*, p. 241.

# Les Très Riches Heures du Duc de Berry et le calendrier

Paul Perbost (Nice, 20 novembre 1995)

## 1. Présentation générale

Le calendrier des **Très riches Heures** comporte deux pages pour chaque mois. Dans l'édition abrégée, à laquelle se réfère cette note, seul est reproduit le calendrier luni-solaire qui indique la position du Soleil dans l'écliptique à travers les douze signes du Zodiaque pour chaque jour de l'année au cours des mois successifs et la date des nouvelles lunes pour l'année entière. (Cf. Bibliothèque de l'Image par Jean Dufournet, professeur à la Sorbonne, 1995). L'autre page, non reproduite dans cette édition restreinte, concerne le calendrier ecclésiastique, avec mention du nombre d'or ancien, en chiffres romains, la suite des lettres dominicales, le décompte mensuel des jours, basé sur les nones, les ides et les calendes, par anticipation, selon l'étrange coutume de Rome, la liste quotidienne des saints du jour, la durée du jour en heures et minutes et le nombre d'or nouveau, en latin évidemment, et en chiffres romains également (Cf. *Les Très Riches Heures du Duc de Berry*, éd. Seghers).

L'étude qui suit concerne essentiellement le calendrier luni-solaire, tel qu'il apparaît dans l'édition abrégée, fondée parfois cependant sur l'édition complète, du moins pour les durées du jour en périodes des solstices. Les graduations du Zodiaque et la succession des jours dans l'ordre normal sont indiquées en chiffres modernes que les Arabes ont transmis à l'Occident après les avoir empruntés à l'Inde. Cette numération comprend le zéro que les Romains ignoraient. Notre mot *chiffre* dérive justement de l'arabe *al sifr* qui signifie zéro. A ce propos, on pourra faire d'utiles comparaisons entre cette ancienne notation chiffrée et la nôtre, ne serait-ce qu'à propos des chiffres que nous écrivons 4, 5, 7, etc (Cf. *Histoire Universelle des Chiffres*, G. Ifrah, éd. Laffont).

## 2. Le calendrier solaire et les signes du Zodiaque

Dans ce calendrier, le demi-cercle supérieur est divisé en degrés de telle sorte que la totalité de chaque signe du Zodiaque en contienne trente. Les figures qui représentent ces signes, admirablement dessinées, sont aisément reconnaissables tant l'astronomie et l'astrologie les ont rendus familières. Qui oserait dire aujourd'hui qu'il ne sait s'il est Vierge ou Lion, sans risquer de passer pour un niais ? Mais c'est une autre affaire. Naturellement, dans son ciel bleu piqueté d'innombrables étoiles d'or, l'auteur des miniatures n'a jamais songé à représenter les constellations du Zodiaque sous la forme où les astronomes les ont depuis longtemps cartographiées. Et pour cause, car ces constellations ne coïncidaient pas plus avec les signes portant le même nom, à l'époque des miniatures, qu'elles ne le font aujourd'hui : bien au contraire, le temps qui passe ne cesse de les éloigner. Ce fait est important à bien des points de vue, nous en reparlerons.

Dans les **Très Riches Heures** une barre radiale sépare systématiquement les signes contigus et la graduation des jours du mois, inscrite sur le demi-cercle inférieur, indique la date où le Soleil passe d'un signe au suivant. Les astronomes ont divisé depuis longtemps, par pure convention, le Zodiaque en douze zones rectangulaires à partir du point  $\gamma$  ou point vernal ainsi nommé parce que le Soleil passe en ce point fondamental à l'équinoxe de printemps. Au temps d'Hipparque, vers 130 avant J.-C., ce point origine se situait au début, c'est à dire au degré zéro, de la zone nommée "signe du Bélier" : les cornes de  $\gamma$  évoquent d'ailleurs celles du fougueux animal. Et, en ce temps-là, le signe du Bélier coïncidait avec la constellation du même nom. Las ! en raison du phénomène de la précession des équinoxes, découvert précisément par Hipparque, ne s'accordant plus entre eux, géométriquement parlant, les signes et les constellations homonymes ne font plus case commune dans le ciel, il y a belle lurette. Cependant, on continue à dire en dépit de cette inexorable séparation, que le

Soleil entre dans le Bélier à l'équinoxe de printemps, alors qu'il pénètre en réalité dans la constellation des Poissons. L'almanach du facteur ne manque d'ailleurs pas de mentionner les dates d'entrée du Soleil dans les signes. Les astrologues non plus : leurs signes voyagent donc dans l'écliptique poussés par un point  $\Upsilon$  qui amorce leur procession graduée en tranches successives de 30°.

Les noms des signes, dans les **Très Riches Heures** sont évidemment inscrits en latin. Il peut donc être utile d'en rappeler la succession dans cette langue à l'aide de deux vers célèbres attribués à Ausone (poète latin né à Bordeaux vers l'an 309 de notre ère) qui permettent de les retenir assez facilement, quitte à les décliner correctement :

*Sunt : Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo.*

*Libraque, Scorpius, Arcitenens, Capes, Amphora. Pisces.*

(Ce sont : le Bélier, le Taureau, les Gémeaux, le Cancer (ou Ecrevisse), le Lion, La Vierge, la Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne, le Verseau, les Poissons).

Compte tenu de la position du point  $\Upsilon$  au début du siècle où furent dessinées les miniatures, c'est à dire le XV<sup>ème</sup> siècle, on pourra comparer les dates d'entrée dans les signes à cette époque avec les dates coorespondantes que précise le calendrier des Postes.

La date du jour initial de la graduation des signes coïncide avec le début de l'année tropique, c'est à dire avec le début du printemps. La durée qui sépare deux équinoxes de printemps successifs est parfois nommée l'année des saisons ; c'est une année agricole et cette durée est variable. L'année tropique en est la valeur moyenne qui correspond à peu près à 365,2422 jours. L'année grégorienne qui règle notre année civile actuelle en est une remarquable approximation : elle vaut 365,2425 jours soit 365 jours +  $\frac{97}{400}$  jours.

La date de l'équinoxe de printemps indiquée par les **Très Riches Heures** correspond, comme aujourd'hui d'ailleurs, à l'entrée du Soleil dans le signe du Bélier, ce qui se produisait, à l'époque, entre le 12 et le 13 mars comme cela apparaît clairement dans la miniature de ce mois-là. On verra de même que l'entrée dans le Cancer avait lieu entre le 13 et le 14 juin (solstice d'été), l'entrée dans la Balance vers le 15 ou 16 septembre (équinoxe d'automne), enfin dans le Capricorne entre le 12 et le 13 décembre (solstice d'hiver). Les dates actuelles étant respectivement 21 mars, 21 juin, 23 septembre et 22 décembre, on constate qu'elles présentent un écart de 9 jours environ avec les dates marquées par les miniatures. Il en va d'ailleurs de même pour les autres entrées dans les différents signes. A l'époque de la réforme grégorienne, qui prit effet le 15 octobre 1582, l'écart évoqué ci-dessus atteignait 10 jours environ, avec un équinoxe au 11 mars. On sait que cette réforme a eu pour effet de ramener l'équinoxe de printemps aux environs du 21 mars et de le stabiliser à cette date comme l'avait décidé le Concile de Nicée en l'an 325 dans ses doctorales computations de la fête des Pâques chrétiennes. La réforme grégorienne a du moins accordé l'année tropique et l'année civile ; elle règle encore la date des fêtes mobiles (Pâques, Ascension, etc) et par conséquent nos "week end" prolongés et beaucoup d'autres "ponts"...

Un calcul approprié, passablement complexe, confirmerait la date de l'équinoxe de printemps indiquée par les miniatures ainsi que l'écart voisin de 9 jours évoqué ci-dessus. A ce point de vue, les **Très Riches Heures** s'accordent remarquablement avec l'astronomie et elles représentent donc une oeuvre d'excellente qualité scientifique avec toute la précision que l'art graphique peut atteindre. De plus, les miniatures des calendriers mensuels sont belles. Les inscriptions latines s'y lisent aisément, d'autant plus qu'elles sont superbement calligraphiées en caractères gothiques. Par exemple, en juillet : *Finis graduuum Cancrici ; Initium Leonis gradus* (Fin des degrés du Cancer ; Début de la graduation du Lion) ; XVI marque les 16 degrés initiaux de ce dernier signe.

### 3. Le calendrier lunaire

Les demi-cercles inférieurs du calendrier mensuel concernent la Lune. Ils sont tout aussi remarquables, du point de vue de l'astronomie, que les demi-cercles supérieurs réservés au

Soleil. Remarquons cependant que les miniatures de certains mois se bornent à indiquer des cases de graduation sans autre mention. Il s'agit des mois de janvier, d'avril, de mai et d'août. Cependant, pour ces mois-là, les figures des signes du Zodiaque, fort belles, y sont en bonne place. Mais, malgré leur perfection, elles ne ressemblent pas exactement aux figures des mêmes signes dans les autres mois dont toutes les cases sont dûment complétées par un nombre, un mot, une lettre ou un croissant de lune. Cela suggère que les miniatures des mois n'ont pas été réalisées par les mêmes artistes ni aux mêmes époques, comme le fait d'ailleurs observer la préface de l'édition abrégée.

Prenons, par exemple, le mois de juillet et lisons d'abord l'inscription latine : *Primactiones lune, mensis Julii dies XXXI* (Epoque des nouvelles lunes, mois de juillet 31 jours). La nouvelle lune se dit orécisément *prima luna* en latin. Mais une constatation étrange s'impose d'abord sur la répartition des lettres a, b, c, ...r, s, t qui paraît anarchique. D'autre part, certaines cases vides ne comportent ni lettres ni croissants. Ces curieuses circonstances méritent évidemment quelques explications, tant elles sont intrigantes. Disons tout de suite que le nombre des lettres, 19, correspond à ce que l'on nomme le nombre d'or (ici, l'élément du comput ecclésiastique). Ce nombre évoque un cycle lunaire de 19 années après lesquelles les phases de la Lune reviennent sensiblement aux mêmes dates de l'année. Le Grec Méton, dit-on, aurait découvert cette loi merveilleuse en 432 avant J-C. D'où le nombre d'or, pour le numéro d'une année dans ce cycle. Différentes conventions fixèrent l'origine chronologique de ce nombre, au cours des siècles. Son importance tient à sa relation avec la date de Pâques, dont la fixation provoqua bien des disputes et même des menaces d'excommunication. Les **Très Riches Heures** mentionnent d'ailleurs conjointement deux nombres d'or, l'ancien et le nouveau, en souvenir de ces péripéties.

Mais revenons aux miniatures, à ce propos, en prenant juillet comme exemple. A la première lettre a, dans la suite donnée des dix-neuf lettres, on associe naturellement le nombre d'or 1 ; de même b va avec le nombre d'or 2, etc. De telle sorte, en outre, que la lettre a marque la date de la nouvelle lune au mois considéré. Ainsi, en juillet, pour une année où le nombre d'or vaut 1, la lettre a indique la nouvelle lune de ce mois, qui correspond au 16 juillet ; pour une année de nombre d'or égal à 2, la lettre b marque à son tour la nouvelle lune, soit en juillet le 5, comme le montre la miniature de ce mois, etc. jusqu'à la lettre t pour une année de nombre d'or 19 ce qui donne la nouvelle lune le 27 juillet.

D'une façon générale, on avait établi depuis longtemps des tableaux qui donnaient directement la date de la nouvelle lune pour chaque nombre d'or et pour toute l'année dans le calendrier julien ancien style en usage à l'époque du Duc de Berry. Le nombre d'or se calcule aisément pour une année dont on connaît le millésime. D'ailleurs, les Actes officiels, les règlements ecclésiastiques, les horloges astronomiques, etc...le mentionnaient annuellement.

A ce point de vue le calendrier lunaire des **Très Riches Heures** constituait précisément un calendrier perpétuel des nouvelles lunes juliennes. D'ailleurs, en raison de la lenteur de la précession des équinoxes, le calendrier solaire, avec ses dates d'entrées dans les signes, avait le même caractère de perpétuité... pour d'assez longues périodes. Voici, par exemple, ce calendrier lunaire pour le mois de juillet (lignes L et D<sub>1</sub>) :

L	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
NON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
D <sub>1</sub>	16	5	24	12	2	20	10	28	17	6	25	14	3	22	11	29	19	8	27
D <sub>2</sub>	16	5	24	12	2	21	10	29	18	7	26	15	4	23	12	1-30	19	8	27
NOA	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1	2	3

L: lettre ; NON : nombre d'or nouveau (nouvel) ; D<sub>1</sub> : nouvelles lunes dans les **Très Riches Heures** (pour juillet) ; D<sub>2</sub> : nouvelles lunes juliennes dans le comput actuel ; NOA : nombre d'or ancien.

Quant aux cases vides (juillet) : 1, 4, 9, 13, 15, 17, 21, 23, 26, 30, elles signifient qu'aucune nouvelle lune ne peut jamais s'y produire, du point de vue théorique du comput

julien. Ce comput s'accorde cependant assez bien avec la Lune réelle, dont la complexité du mouvement ne saurait être enfermée dans un tableau aussi restreint que le précédent. Remarquez la concordance remarquable de  $D_1$  et  $D_2$ . Les croissants de lune ont sans doute une signification météorologique ou agricole indiquée par la position des cornes, tournées vers le haut ou vers le bas, ou plus ou moins inclinées, selon les croyances du temps : lune faste ou néfaste, favorable ou défavorable...

## 5. Conclusion

En admettant que le Duc de Berry prit le temps de prier en feuilletant son admirable Livre d'Heures dont tel était officiellement l'office, il dut du moins s'émerveiller devant cet hymne incomparable à la Beauté.

Pour terminer, indiquons que le Calendrier de ce Livre donne pour durée du jour le plus long 16 h (solstice d'été) et pour le jour le plus court 8 h (solstice d'hiver). On peut en déduire, par des calculs qui n'auraient pas leur place ici, mais que les Anciens savaient faire, que cette information correspond à une latitude  $\phi = 48^\circ 53'$ . Or c'est précisément la latitude de Paris. Il y a là, sans nul doute, plus qu'une coïncidence.

P.B

## NOTE COMPLEMENTAIRE SUR LE CALCUL DE LA LATITUDE

Le problème est : connaissant la durée du jour le plus long et celle du jour le plus court en un lieu donné, en déduire la latitude de ce lieu.

On peut ramener cette question à celle du calcul de l'angle horaire du Soleil à son coucher. Cet angle est nommé l'arc semi-diurne du Soleil car il fournit, en temps sidéral, le demi-arc de visibilité du Soleil au-dessus de l'horizon. Si l'on néglige la réfraction atmosphérique, l'angle horaire en question  $H$  est donné par la relation suivante :

$$\cos H = - \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \phi \quad (1)$$

où  $\delta$  et  $\phi$  désignent respectivement la déclinaison du Soleil et la latitude du lieu. Pour une valeur de la déclinaison opposée,  $-\delta$ , on a de même :

$$\cos H' = \operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \phi \quad (2)$$

D'où il résulte que

$$\cos H' = - \cos H \quad (3)$$

Les arcs semi-diurnes  $H$  et  $H'$  ont pour somme  $180^\circ$  ou 12 heures.

Une représentation géométrique élémentaire rend d'ailleurs ce fait évident. Il n'avait pas échappé aux Anciens (Hipparque, Ptolémée, Vitruve, etc). Or la détermination de l'arc semi-diurne est particulièrement facile à l'époque des solstices où les déclinaisons du Soleil sont précisément opposées et varient très peu d'un jour au suivant. Cela explique que la détermination de la latitude ait pu être réalisée depuis la plus haute antiquité à partir du rapport des durées du jour le plus long et du jour le plus court.

Selon les **Très Riches Heures**, le jour le plus long dure 16 heures, et le jour le plus court 8 heures. Soit  $H' = \frac{1}{2} H$  et comme  $H + H' = 180^\circ$ , il en résulte  $H = 120^\circ$

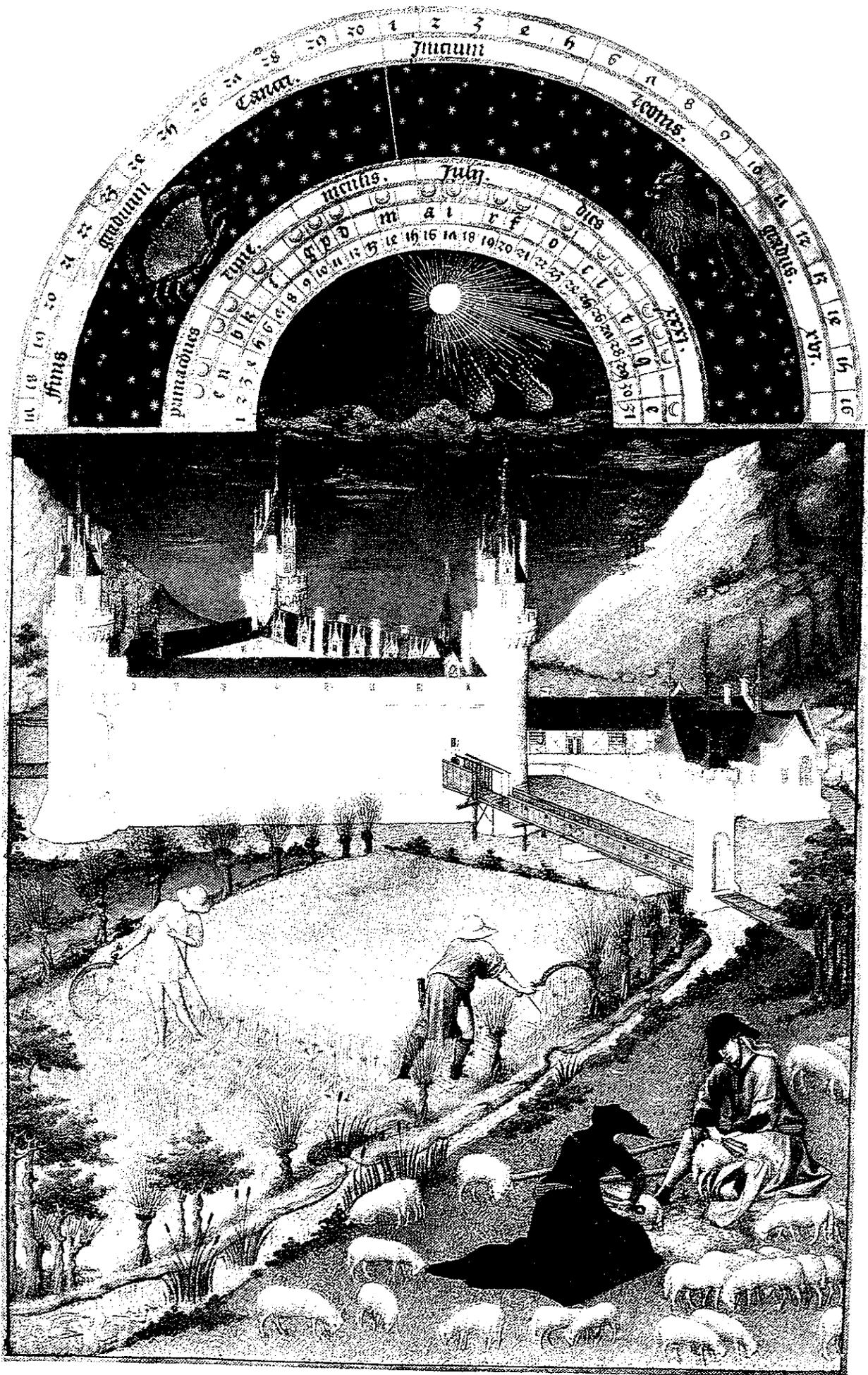
En adoptant la valeur de la déclinaison  $\delta = 24^\circ$  prise par les Anciens comme mesure approchée de l'obliquité de l'écliptique on trouve finalement, d'après (1) :

$$\operatorname{tg} \phi = - \frac{\cos 120^\circ}{\operatorname{tg} 24^\circ}$$

soit  $\phi = 48^\circ 53'$ , la latitude de Paris.

---

A propos de calendrier, si votre abonnement se terminait avec le Cahier n°72, pensez réabonnement



## Mars et Vénus

*Note de la Rédaction : l'article de notre collègue Philippe Masson que nous reproduisons ici a été antérieurement publié, en avril 1994, dans la revue "Plein Sud", éditée par l'Université de Paris-Sud.*

Une nouvelle ère de l'astronomie planétaire a commencé il y a 25 ans avec le lancement des premières sondes d'exploration du système solaire. L'attention des géologues se porta aussitôt vers les autres planètes telluriques, particulièrement Mars et Vénus.

Les deux premières sondes, VIKING 1 et VIKING 2, furent lancées par la NASA en 1975. Pendant plusieurs années elles ont tourné autour de Mars, prenant des photos de sa surface. Plus de 52 000 images ont servi à établir la cartographie complète de Mars, à la fois topographique et géologique. Comment est-ce possible ? Dans un premier temps les données altimétriques réalisées par d'autres instruments embarqués ont été ajoutées aux photomosaïques du sol planétaire, ce qui a permis d'en construire la topographie complète.



*Le volcan Maat Mons sur Vénus, s'élevant de 8 km au-dessus d'une plaine de lave. Une image de synthèse de la mission MAGELLAN (NASA, 1990).*

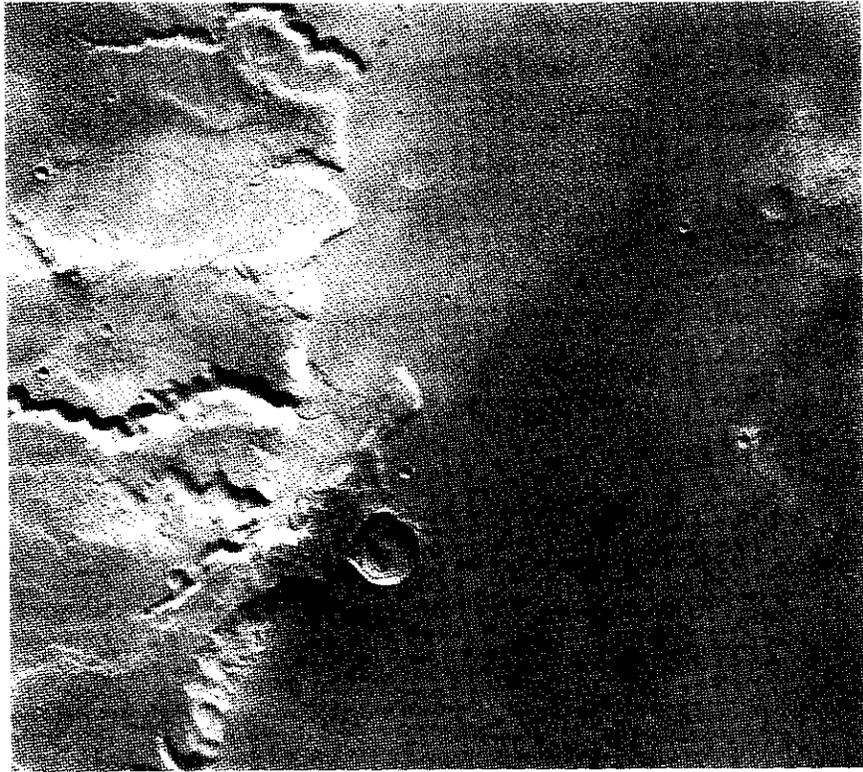
Dans un deuxième temps les géologues ont interprété ces cartes, déduisant la nature des phénomènes observés de ceux qui étaient déjà connus sur la Terre et la Lune : volcanisme, tectonique, formation de cratères par bombardement de météorites, érosion par l'eau ou par le vent. (L'eau creuse des vallées dans les roches, alors que le vent accumule les poussières sous forme de dunes, sur Terre ou sur Mars).

Il s'agit, en somme de planétologie comparée. Partant de ces données les spécialistes de Mars postulent, par exemple, que toute activité volcanique a cessé sur cette planète il y a moins d'un milliard d'années (1 MdA), alors que l'eau en aurait déjà disparu avant cette échéance.

D'autres missions d'exploration ont eu lieu après 1976; les prochaines sont déjà programmées. En 1989, les Soviétiques lançaient les deux sondes de la mission MARS-PHOBO. Le contact avec la première fut perdu quelque part entre la Terre et Mars; la deuxième se perdit à l'approche de Phobos (satellite de Mars), non sans avoir observé la surface de cette planète. Parmi les instruments perdus avec la sonde, il y avait un spectromètre infrarouge conçu et construit par les chercheurs de l'Observatoire de Meudon et de l'Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay (IAS). Il était destiné à fournir des informations sur la composition chimique des roches de Mars et de Phobos. En septembre 1993, la NASA lança la mission MARS-OBSERVER, mais la mise en orbite du satellite fut encore un échec.

La planète Vénus est plus difficile à observer en raison de l'épaisse atmosphère nuageuse de  $\text{CO}_2$  qui cache sa surface. Exerçant une pression de quelque 90 atmosphères terrestres, elle produit un effet de serre tel que la température s'élève à 4500 °C au sol. Pour la percer les instruments d'observation utilisent les ondes radar. Dès 1962, les Soviétiques ont fait atterrir sur le sol vénusien les petites sondes VENERA qui ont résisté pendant plusieurs dizaines de minutes à cette fournaise et envoyé des mesures vers la Terre. Trois missions orbitales ont eu lieu: PIONEER VENUS ORBITER 1 et 2 (E-U, 1978), VENERA 15 et 16 (URSS, 1985) et MAGELLAN (E-U, 1990).

La surface de la planète a été observée par radar et des mesures altimétriques ont été prises. Désormais, 98% de la surface de cette planète nous est connue avec une résolution de 120 m au sol. Cette imagerie unique est rassemblée dans notre laboratoire. Elle nous fait mieux connaître la géologie de Vénus.



*Vue du plateau de l'hémisphère sud de Mars (site East Mangala). Une vallée profonde, anciennement creusée par l'eau, débouche dans l'hémisphère nord. (mission Viking Orbiter, NASA, 1975).*

Mars, planète deux fois plus petite que la terre, est caractérisée par une forte dissymétrie morphologique nord-sud. Alors que l'hémisphère sud est couvert de cratères d'impact de météorites, l'autre hémisphère en est dépourvu. Or, toute la surface de la planète, formée il y a 4,6 MdA, a été soumise à un intense bombardement jusqu'à l'âge de 3,8 MdA, date à laquelle se sont produits des bouleversements géologiques qui restent l'une des énigmes tenaces de cette planète. L'hémisphère nord aurait-il été couvert par un océan qui en aurait érodé la surface ? Cette hypothèse est appuyée par le fait que l'hémisphère sud forme un plateau unique, surélevé de 1 à 3 km par rapport au niveau de l'autre. Les grands volcans martiens, de type hawaïen, constituent une autre disparité. Situés au nord, leur cône peut atteindre une hauteur de 26 km pour un diamètre de 600 km (Olympus Mons, le plus grand volcan du système solaire). Ils sont aujourd'hui éteints, toute activité volcanique ayant probablement cessé sur Mars il y a moins d'un MdA. Etudiant la structure géomorphologique de

Mars, notre laboratoire cherche actuellement à comprendre le mécanisme des failles qui entourent les volcans martiens.

Autre fait unique: le canyon long de 3 500 km pour une profondeur de 6 à 8 km, qui se trouve dans la région équatoriale. Il a été creusé par l'eau, de même que les nombreuses autres petites vallées qui débouchent toutes sur l'hémisphère nord. Aujourd'hui il n'y a plus d'eau sur Mars. Comment a-t-elle disparu ? Evaporée dans l'atmosphère ou piégée dans le sous-sol ? Peut-être la prochaine mission vers Mars apportera-t-elle quelques éclaircissements, notamment grâce à la caméra stéréoscopique multispectrale préparée par l'Institut planétologique de Berlin. Notre laboratoire participera à l'exploitation des images fournies par cet instrument.

Par ses dimensions, Vénus est la planète sœur de la nôtre, mais sa géologie présente d'importantes différences. Deux grands faits morphologiques la caractérisent: les basses plaines, analogues aux dépressions océaniques de notre planète, et qui occupent 70% de sa surface; la série de hauts plateaux (de la taille de l'Australie) situés sur l'équateur et dans l'hémisphère nord. Les plaines sont couvertes d'une multitude de formations volcaniques jeunes, dont l'activité est encore récente (600 millions d'années). Puisqu'il n'y a pas ou peu de cratères météoritiques sur Vénus, sa surface a été rajeunie, ce qui témoigne d'une histoire géologique très intense, avec volcanisme et tectonique. Effectivement, on observe des plis, des failles et des volcans, comme sur la Terre. Mais sans le phénomène des plaques. Ceci amène cette question: la tectonique des plaques est-elle une particularité de la Terre ? Et cette autre: Vénus représenterait-elle un stade primitif d'une dynamique interne qui serait arrivé à maturité sur la Terre ?

Comme quoi l'observation des autres planètes amène les planétologues à garder les pieds sur Terre.

Philippe Masson

Laboratoire de Géologie Dynamique de la Terre et des Planètes

Bâtiment 509 Université de Paris Sud Centre d'Orsay

91405 ORSAY Cedex

### La photothèque planétaire d'Orsay

Elle fait partie du réseau international de Regional Planetary Image Facilities de la NASA. Elle a été établie en accord entre celle-ci, le CNRS et l'université de Paris-Sud.

Plus de 200 000 images des planètes explorées par la NASA, plus de 2 000 cartes topographiques et géologiques réalisées à partir des documents photographiques des différentes missions spatiales. Une bibliothèque renfermant des ouvrages généraux et spécialisés et un service de consultation à distance.

Pour tous renseignements s'adresser à l'auteur, à l'adresse ci-dessus.

### **UNIVERSITE D'ETE D'ASTRONOMIE**

Organisée cet été par l'équipe d'Orsay, elle se déroulera au Col Bayard, à Gap, du 20 au 29 Août. Nous attendons la réponse du Ministère, que nous espérons favorable. Si vous êtes intéressés, surveillez le BOEN et déposez votre dossier en temps utile, sans oublier d'en envoyer un double aux organisateurs. Attention, seules les candidatures transmises avec avis favorable de la MAFPEN peuvent être recevables.

Une petite coloration européenne est prévue, avec la participation (espérée) de Roland Szostak (Allemagne), Rosa M. Ros (Espagne) et Laura Abati (Italie).

L'équipe du GRP-CLEA envisage de se réunir pendant la même période et de partager son activité entre l'animation de l'Université d'été et la rédaction de nouveaux documents pédagogiques.

### **COLLOQUE N°162 DE L'UNION ASTRONOMIQUE INTERNATIONALE "NEW TRENDS IN ASTRONOMY TEACHING"**

C'est le second colloque organisé par l'UAI sur le thème de l'enseignement, après celui de Williamstown, en 1988 ; il se déroulera à Londres du 8 au 12 Juillet 1996. Plus de 150 participants sont attendus, en provenance d'un très grand nombre de pays. Le CLEA parraine modestement le colloque, en prenant en charge la participation de deux de ses membres et en attribuant 10 000 francs, qui seront utilisés pour payer les voyages d'enseignants en provenance de pays à devises faibles.

L'organisation à Londres est sous la responsabilité de Derek McNally. Peut-être nos plus anciens lecteurs se souviennent-ils que c'est sous son impulsion (il était alors Président de la Commission "Enseignement de l'Astronomie" de l'UAI) que fut organisée cette première rencontre à Grenoble en Août 1976, d'où devait naître le CLEA.

Si vous souhaitez participer au colloque, demandez l'information à Lucienne Gouguenheim (ARPEGES, Observatoire, 92195 MEUDON Cedex).

## Chronique du CLEA – Parmi nos lettres ...

**L'Université d'été du CLEA** – Elle aura lieu au col Bayard, près de Gap, du 20 au 29 août 1996. Les Collègues intéressés doivent suivre à ce sujet l'annonce que doit en publier le BOEN.

**Réabonnements** – Avec le CAHIER n°72 de l'hiver, beaucoup d'abonnements sont arrivés à leur terme, l'étiquette d'envoi comportant alors la mention "fin d'abonnement au n°72". Si vous êtes dans ce cas et si vous n'avez pas encore renouvelé votre abonnement, pensez-y sans plus tarder. Sinon, vous ne recevrez pas le CAHIER n°74 de l'été.

Ne regrettez pas votre contribution au CLEA et aux CAHIERS CLAIRAUT : la bonne santé de notre association lui permet d'élargir ses productions et de promouvoir l'enseignement de l'astronomie sans dépendre de personne d'autres que nous-mêmes.

**Erratum** – Le rédacteur, coupable de la note sur le millésime 1996 (Cf CAHIER n°72, p.39) se mord les doigts et vous présente ses excuses ; il a accumulé les bévues : le 1996 ème nombre premier n'est pas 16 349 comme annoncé mais 17 359 dont la somme des chiffres est bien en effet 25 comme ceux de 1996. Un oubli à réparer : 1996 est le centenaire de la mort d'Hippolyte Fizeau.

**Un almanach 1996** – D'un envoi de Michel Laisne qui anime un groupe ASTRONOMIE ENFANTS :  
*"L'idée de fabriquer avec les enfants un almanach astronomique est née en décembre 1994 et le travail effectué à cette époque par Jean-Michel Carton avec les enfants de son groupe en a confirmé la richesse. La réalisation d'un almanach conduit à étudier les phénomènes astronomiques élémentaires et ainsi à améliorer leur compréhension ; elle permet également de développer des méthodes de travail et des capacités créatrices.*

*Il faut d'abord préciser le projet. Que trouvera-t-on dans l'ouvrage ? Quelles seront les rubriques régulières qui figureront chaque mois ? Quels articles généraux ? Quelles illustrations ?...*

*Il faut ensuite préciser les tâches. Où trouver les informations ? Les livres et les revues spécialisées fourniront la plupart des renseignements nécessaires. Quelques logiciels d'astronomie pourront être consultés... Qui fera quoi ? Il est impératif de répartir les tâches..."*

Le résultat de ce travail, réalisé dans le cadre de la MJC de Douai, est un beau cahier de plus de 36 pages : des généralités élémentaires sur la Lune, le Soleil, les éclipses, les planètes et les constellations puis une feuille par mois, des schémas des constellations d'hiver, de printemps, etc avec de bons moyens de trouver la galaxie d'Andromède. Bravo les enfants de Douai !

**Stages MAFPEN** – Notre Collègue Roger Marical nous a envoyé le programme du stage qu'il a animé, avec Monique Lobry, les 24-25 janvier à Rouen sur le thème "rayonnement, couleur, mouvement". A l'observatoire de Rouen, il organise huit demi-journées d'initiation au printemps.

A Orléans, 32 stagiaires se sont retrouvés du 13 au 16 février avec Lucette Mayer et Eric Varanne.

**A la recherche du ciel perdu** – Tel est le titre du nouveau spectacle du planétarium de Strasbourg inauguré le 12 février 1996. A propos de planétarium, les rencontres 1996 de l'APLF auront lieu au planétarium de Reims les 3, 4 et 5 mai 1996. Renseignements 1 pl Museux, 51100 REIMS.

**A vendre** – Lunette Célestron C60.700 ; neuve ; nombreux accessoires ; monture azimutale ; valeur 1600 F, vendue 1200 F. Téléphoner à Monsieur C.ASTRUC, 55.74.45.73.

**Il y aura vingt ans**, le 2 septembre 1996 que se sera tenu le premier colloque Enseignants et Astronomes, à Grenoble, en marge du congrès de l'UAI qui se tenait dans cette ville. Comme nous le rappelle l'ami Victor Tryoën qui y participait et devait nous montrer au cours de nombreuses écoles d'été sa connaissance des constellations. Pensons-y, le CAHIER n°75 d'automne devrait bien rassembler des souvenirs de quelques uns des participants à ce colloque. Le CLEA aura vingt ans...

Et ce qui est le plus merveilleux, c'est qu'il se sent jeune et plein d'avenir !

## Index des Cahiers Clairaut - Dix-huitième année, 1995, du n°69 au n° 72

Pour chaque référence, un couple de deux nombres indique, le premier le numéro du Cahier, le second la page.

### INDEX ALPHABETIQUE DES AUTEURS

- ACKER Agnès ; Les nébuleuses planétaires traceurs de l'évolution stellaire (72, 02)  
BALIBAR Françoise ; La dualité onde-corpuscule (71,06)  
BERTHOMIEU Francis : Mars sur orbite (69,10), (70,02), (71, 19)  
BOISTEL Guy : Astronomie et Histoire des sciences en Première L (70,18)  
BOTTINELLI Lucette ; A la recherche de planètes extra solaires (72,36)  
BRUNET J.-P. et DUMONT R. : Le dialogue enseignants et astronomes est perfectible (70,34)  
CAUSERET Pierre : Zététique et influences de la Lune (70,17)  
Descartes, éclipses de Lune et vitesse de la lumière (71,30)  
CAZENAVE J. : Capteurs CCD et imagerie numérique (71,35)  
COLAS J-L. : Un compas à ellipses ? (70,37)  
GERBALDI Michèle : La mesure de la constante solaire (69,39)  
HEIDMANN Jean : SETI et la bioastronomie (69,17), (70,10)  
KRIVINE Gérard : Soleil et centrale nucléaire (71,02)  
LANCIANO Nicoletta : Pourquoi l'astronomie ? (72,31)  
LEGRAND Eliane ; Mathématiques sans frontière (72,18)  
LOUIS Anne-Marie ; Calamitic Park (71,33)  
MASCELLANI V. : Un petit laboratoire pédagogique pour le Soleil (71,22)  
MIZAR K. : En attendant 1996 (69,29)  
Eclipses de Bouvines et autres lieux (72,37)  
PERBOST Paul : Apparition de la Corse au grand large de Nice (69,32)  
ROSENSTIEHL Jean-Paul : Kepler, Newton... et Mercure (70,21)  
ROUSSEL Roger : Astroqueyras (70,28)  
SERT Josée : L'Association Européenne pour l'Education en Astronomie (69,02)  
L'Assemblée Générale de l'EAAE (72,16)  
SZOSTAK Roland : Mesure simple de l'excentricité de l'orbite terrestre (71,13)  
Editorial (72,01)
- 

### INDEX ALPHABETIQUE DES ARTICLES

- APPARITION de la Corse au grand large de Nice (Perbost ; 69,32)  
ASSEMBLEE générale de l'EAAE (Sert ; 72,16)  
ASSEMBLEE générale 1995 du CLEA à Strasbourg (72,25)  
ASSOCIATION Européenne pour l'Education en Astronomie (Sert ; 69,02)  
ASTRONOMIE et histoire des sciences en première L (Boistel ; 70,18)  
ASTROQUEYRAS (Roussel ; 70,28)  
CALAMITIC Park (Louis ; 71,33)  
CAPTEURS CCD et imagerie numérique (Cazenave ; 71,35)  
COMPAS à ellipses ? (J-L.Colas ; 70,37)  
DECLARATION fondatrice de l'EAAE (69,06)  
DESCARTES, Eclipses de Lune et vitesse de la lumière (Causeret ; 71,30)  
DIALOGUE perfectible entre Enseignants et Astronomes (Brunet et Dumont ; 70,34)  
DIAMETRE solaire et instruments astronomiques (72,35)  
DUALITE onde-corpuscule (Balibar ; 71,06)  
ECLIPSES de Bouvines et autres lieux (Mizar ; 72,37)  
EN attendant 1996 (Mizar ; 69,29)  
EUROPE en route vers les étoiles (72,30)  
KEPLER, Newton... et Mercure (Rosenstiehl ; 70,21)  
MARS sur orbite (Berthomieu ; 69,10 ; 70,02 ; 71,19)  
MATHEMATIQUES sans frontière (Legrand ; 72,18)

MESURE de la constante solaire (Cerbaldi ; 69,39)  
MESURE simple de l'excentricité de l'orbite terrestre (Szostak ; 71,13)  
MORANDO Bruno (Toulmonde ; 72,40)  
NEBULEUSES planétaires (Acker ; 72,02)  
PETIT laboratoire pour le Soleil (Mascellani ; 71,22)  
POURQUOI l'astronomie ? (Lanciano ; 72,31)  
RECHERCHE des planètes extra solaires (Bottinelli ; 72,36)  
SETI et la bioastronomie (Heidmann ; 69,17 ; 70,10)  
SOLEIL et centrale nucléaire (Krivine ; 71,02)  
STAGES MAPPEN (72,34)  
ZETETIQUE et influences de la Lune (Causeret ; 70,17)

---

### LISTE ALPHABETIQUE DES TITRES DES OUVRAGES RECENSES

Le titre de l'ouvrage est suivi du nom de son Auteur et du couple numéro du Cahier et page.

L'AIR de notre temps (Cérard Lambert ; 70,32)  
ANNUAIRE de la culture scientifique et technique (72,24)  
L'ATOME dans l'histoire de la pensée humaine (Bernard Pullmann ; 71,28)  
LE CHAOS dans le système solaire (Ivars Peterson ; 72,22)  
CIEL de nuit (Robin Kerrod ; 70,32)  
LES COMETES (J. Corvisier et Th. Encrenaz ; 72,23)  
DE L'EAU (Paul Caro ; 72,22)  
ENSEIGNEMENT et histoire des sciences (70,30)  
DU FEU (Adolphe Pacault ; 72,21)  
FORME et croissance (D'Arcy Thompson ; 69,23)  
HIROSHIMA oublié (Béatrice Faillès ; 71,29)  
HISTOIRE de l'astronomie (A. et C. Delobbe ; 71,29)  
JEUX de lumière (F. Suagher et J-P. Parisot ; 72,24)  
LA LUMIERE des neutrinos (M. Cribier, M. Spiro et D. Vignaud ; 69,22)  
LE MONDE des étoiles (Daniel Benest, C. Froeschlé et sq ; 72,19)  
NEWTON (Richard Westfall ; 72,20)  
LS OBJETS fragiles (P.C. de Gennes ; 69,26)  
LES PETITS PLANETARIUMS fixes et itinérants (72,24)  
PHILOSOPHIE de la science contemporaine (Roland Omnès ; 69,25)  
RESOLUTION des paradoxes de Zénon (William Mac Laughlin ; 69,24)  
LE SOLEIL horloger de la Terre (L. Gouguenheim et J. Lavaud ; 70,32)  
LE TEMPS (E. Klein ; 72,20)  
LA TERRE mandarine (André Balland ; 69,27)  
L'UNIVERS et la lumière (Laurent Nottale ; 69,22)  
L'UNIVERS des galaxies (Daniel Benest, C. Froeschlé et sq ; 72,19)

---

### RAPPEL DE QUELQUES ARTICLES PARUS DANS DES NUMEROS PLUS ANCIENS

Suzy COLLIN : Les noyaux actifs de galaxies (47,02)  
J. NUSSBAUM : La perception par les élèves des concepts astronomiques (du Cahier 52 au 55)  
Evry SCHATZMAN : la rotation des étoiles (53,02)  
Roland SZOSTAK ; Observation de la marche du Soleil au cours de la journée (58,07)  
François BIRAUD : Les pulsars millisecondes (60,02)  
André BRAHIC ; Le système solaire aujourd'hui ... (64,02)  
Claude MARCHAT : Cratère d'impact météoritique de Rochechouart (66,02)

---

Renseignements sur le CLEA et sur ses publications :

Ecrire au secrétaire Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 SAINT CLOUD

---



## Le C.L.E.A. et Les Cahiers Clairaut

### CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 1996 :

Cotisation simple au CLEA pour 1996	30 F
Abonnement simple aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n° 73 à 76	120 F
Abonnement aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n°73 à 76 ET cotisation au CLEA pour 1996	150 F
Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
Le numéro des <i>Cahiers Clairaut</i> (port compris)	40 F

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

### COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

C1 . Collection complète du n° 1 au N°72 (1100 F- 1200 F)

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

C90. à C95. (chaque 90 F- 100 F)

N-B. Comme pour toutes les publications le deuxième prix est celui qui correspond au tarif port compris

Adresser inscriptions, abonnements ou commandes au secrétaire du CLEA  
Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD

en joignant à votre envoi le chèque correspondant rédigé à l'ordre du CLEA.

## Autres publications diffusées par le CLEA

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

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

### PUBLICATION DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes : toutes les données disponibles  
du Centre des Données Stellaires de l'Observatoire de Strasbourg  
concernant 2000 étoiles visibles à l'oeil nu (75 F)

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

Directeur de la publication : Lucienne Gougenheim

Dépot légal 1er trimestre 1979

Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

Numéro d'inscripton CPPAP 61660