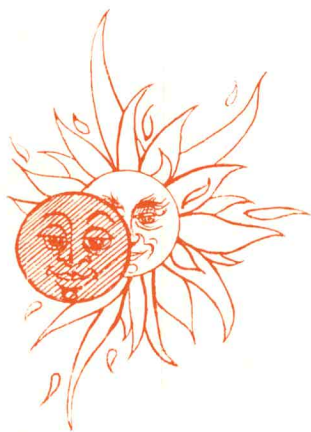




bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lectures
pour
et se
Hist
Ré
d'o
Ar
for
Réfle
déb
Info
élèves
Vie
Tex
exerc
Articles
Les p



numéro 86 - ÉTÉ 1999

ISSN 0758-234X

Comité de liaison enseignants et astronomes

Le CLEA

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

formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAF-PEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations,

travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

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



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex
Tel : 01 69 15 77 66 ; Fax : 01 69 15 63 80
Adresse électronique : michele.presse@df.cso.u-psud.fr

PUBLICATIONS DU CLEA pages C et D

Bureau du CLEA pour 1999

Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER
Evry SCHATZMAN

Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents

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

Secrétaire

Martine BOBIN

Trésorière-Secrétaire

Catherine VIGNON

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

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Conception et réalisation de la mise en page : Sophie Durand

EDITORIAL

Nous n'avons pas pu, pour des raisons d'ordre financier, prolonger le contrat de Sophie Durand qui s'est achevé le 30 avril 1999. Nous allons bien sûr continuer à utiliser la maquette élaborée par Sophie mais nous ne sommes pas des professionnels et vous pouvez peut-être nous simplifier la tâche ; nous vous en remercions à l'avance (cf. encadré.p. 9).

Nous aimerions un nouveau logo plus moderne mais simple et sobre pour le CLEA et faisons appel à votre imagination et à vos talents.

Pour ce numéro, nous avons encore reçu des articles intéressants et variés ; en particulier la rubrique "avec nos élèves" est bien remplie, ce que nous souhaitons. Continuez à nous envoyer articles et remarques qui sont précieux pour tous les membres du CLEA.

L'article de fond, qu'a écrit Guy Moreels, est consacré au problème passionnant des origines de la vie dans l'Univers. Charles Henri Eyraud nous a envoyé de belles histoires qu'il interprète pour les élèves de primaire ou de collège : nous les publions en plusieurs épisodes pour faire durer le plaisir. Mme Mirabello et Mr Grange nous présentent une expérience de longue haleine réalisée à l'école primaire. Didier Demarque et ses élèves ont rencontré des astéroïdes ...

L'éclipse est le sujet d'actualité : nous remercions Philippe Malburet et Alain Sprauer pour leurs contributions qui nous ont toutes deux intéressés mais nous avons dû choisir et pris l'article parvenu le premier.

Pierre Lerich nous raconte avec humour ses démêlés avec le sextant et René Cavaroz nous propose le travail réalisé par le club de son lycée sur Pierre-Simon de Laplace à l'occasion du 250^e anniversaire de la naissance de celui-ci.

Merci enfin à Lucette Botinelli, Francis Berthomieu, Pierre Causeret, Daniel Toussaint, Gilbert Walusinski, auteurs réguliers des Cahiers.

La Rédaction

les Cahiers Clairaut

Été 1999 n°86



Article de fond

Les origines de la vie dans l'Univers

p. 2



Avec nos élèves

Le ciel des pêcheurs catalans

(niveau primaire)

p. 10

Maquette du système solaire

(niveau primaire)

p. 12

Rencontre avec des astéroïdes

(niveau lycée)

p. 15

L'éclipse du 11 août

(niveau lycée)

p. 18

Serez-vous privé d'éclipse si vous avez égaré vos filtres ?

(niveau collège)

p. 20

Remue-méninges

Calculer la distance d'Uranus

p. 23



Travaux-pratiques

L'année du sextant

p. 24



Histoire

Tanabata, au pays du Soleil Levant

p. 26



Pierre-Simon de Laplace

p. 28

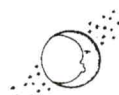
Lectures pour la Marquise

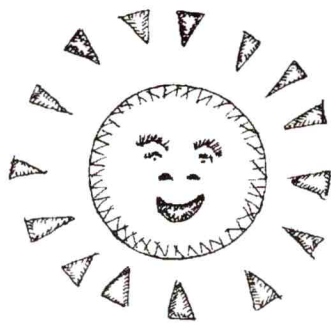
p. 35



Les potins de la Voie lactée

p. 39





Les origines de la vie dans l'Univers

Des molécules interstellaires aux acides aminés

Guy Moreels

Comprendre l'origine de la vie, analyser la suite des événements qui ont conduit à l'apparition d'organismes vivants et essayer de reconstituer le processus évolutif du monde vivant à l'endroit même où nous sommes situés dans l'Univers, voici quelques-uns des problèmes les plus fondamentaux que les scientifiques de cette fin de siècle essaient d'aborder.

Dans sa grande simplicité, à savoir fabriquer de la matière organique dotée de vie à partir de la matière inorganique disponible dans l'Univers, le problème repose sur un énorme paradoxe. Alors que le deuxième principe de la thermodynamique stipule que les systèmes tendent vers le désordre, ce qui est illustré par le fait que deux gaz maintenus isolés initialement se mélangent l'un à l'autre jusqu'à ce que l'on ne puisse plus en distinguer les composantes, la suite des processus ayant conduit à l'apparition de la vie semble avoir produit l'effet exactement inverse. Si nous envisageons par exemple de construire une maison, nous commencerons par constituer un tas de sable et de graviers et un ensemble de sacs de ciment. La construction de la maison demandera une activité coordonnée où la main de l'homme sera indispensable. Il n'est pas possible d'imaginer un instant que, si on laisse les matériaux les uns à côté des autres, que l'on s'éloigne du chantier pendant quelques années ou quelques centaines ou milliers d'années, la maison se construira toute seule et que, lorsque l'on reviendra, on se trouvera en présence d'une magnifique résidence en train de fonctionner comme une belle mé-

canique bien huilée. Le problème des origines de la vie est, sous bien des aspects, comparable à celui de la maison. D'un côté, nous savons que l'Univers contient tous les éléments dont sont constitués les êtres vivants : l'hydrogène et l'oxygène dont est formée l'eau, qui est le corps le plus fondamental, puis le carbone que l'on trouve dans toutes les molécules organiques et l'azote que l'on trouve dans les protéines et enfin le soufre, le phosphore et les éléments minéraux comme le calcium, le sodium et le potassium. D'un autre côté, les mêmes éléments se trouvent assemblés dans des molécules géantes et extrêmement complexes, mais dont l'agencement est ordonné de manière aussi simple et logique que possible en vue d'accomplir toutes les fonctions dévolues à la vie.

Comment est-il possible de passer d'un ensemble apparemment désordonné comme celui qui est constitué par les gaz et les poussières de nuages interstellaires à des systèmes moléculaires aussi bien agencés que ceux des macromolécules qui sont les moteurs des mécanismes de la vie? Voici un problème ardu, faisant appel

à un grand nombre de disciplines scientifiques, mais combien excitant et enthousiasmant pour les êtres humains qui commencent à disposer des moyens d'investigation adéquats permettant de résoudre cette énigme.

La vie est gouvernée par des processus biochimiques très spécifiques inventés par la nature. Elle repose sur des molécules que l'homme n'est pas encore parvenu à synthétiser. Ses caractéristiques sont résumées par Stanley Miller qui a été l'un des tout premiers, à la suite de Oparine et de Haldane, à élaborer un scénario réaliste de l'apparition de la vie dans l'Univers.

Selon S. Miller, la matière vivante est caractérisée par un organisme :

- qui est capable de se reproduire
- et qui est sujet à des mutations pouvant se transmettre d'une génération à l'autre.

L'origine de la vie se confond avec celle de la création de cet organisme qui doit être capable de se reproduire et de subir des transformations pour s'adapter à la pression sélective de son environnement.

Le schéma adopté dans cet exposé suivra les grandes lignes de ce scénario. Tout d'abord, nous nous poserons la question de savoir si les composés chimiques présents dans les organismes vivants existent réellement, sous une forme simple, dans certaines régions de l'Univers. Cette démarche fera appel principalement aux résultats obtenus avec les différentes méthodes d'analyse spectroscopique, comme cela se pratique dans les laboratoires de chimie. Nous nous intéresserons ensuite aux comètes et à des objets qu'il est facile d'analyser : les météorites car l'on peut penser que ces objets peuvent fournir des informations précieuses sur les premiers instants de la formation du système solaire. Nous examinerons ensuite quelle a pu être l'évolution de l'atmosphère et de l'hydrosphère des planètes en portant un intérêt particulier à la Terre, Mars et Titan. La partie suivante sera consacrée à une description sommaire des principaux constituants de la matière vivante : acides aminés, protéines, ADN et ARN. Les principales étapes de l'évolution du monde vivant seront décrites.

Le milieu interstellaire, les comètes, les météorites

La radioastronomie consiste à détecter et à étudier le rayonnement électromagnétique émis par les astres dans la partie du spectre qui correspond aux longueurs d'onde (ou aux fréquences) des ondes radioélectriques. Cette discipline de l'astronomie s'est développée après la deuxième guerre mondiale grâce aux progrès effectués dans le domaine des récepteurs radio : antennes, télescopes et détecteurs. Les émissions détectées se situent aux longueurs d'ondes supérieures à quelques dixièmes de mm, i.e. au-delà du domaine infrarouge. Les échanges d'énergie lors de ces transitions correspondent à des changements dans l'état de rotation des molécules qui émettent le rayonnement. On a ainsi pu identifier de nombreuses sources dans le domaine radio : quasars, pulsars, radio-galaxies. Jusqu'à présent, les radio-télescopes ne permettaient pas d'obtenir des images au sens où on l'entend dans le domaine visible. Actuellement, la situation est en train de changer avec le développement d'inter-féromètres dans le domaine radio. Sur le plan spectroscopique, l'étude des raies contenues dans le spectre du rayonnement radio des objets est très efficace pour identifier les composés. Dans le milieu interstellaire, de très nombreuses molécules organiques et inorganiques ont été identifiées au sein des nuages interstellaires. La liste en est donnée dans la table 1. On note la présence d'hydrogène et d'eau, ce qui n'est pas surprenant puisque l'hydrogène est, de loin, l'élément le plus abondant dans l'Univers. L'oxygène, tout comme le carbone, est synthétisé dans les réactions thermonucléaires qui ont lieu dans le cœur des étoiles. Les molécules organiques détectées sont très nombreuses. Le monoxyde de carbone CO a été l'une des premières molécules détectées en radio-astronomie. On note la présence d'acide cyanhydrique, de formaldéhyde et de méthanol dans le milieu interstellaire.

Toutes ces molécules interagissent sous l'action de processus chimiques qui ont lieu à température faible dans le milieu interstellaire et en présence d'un champ de rayonnement lié à la présence

d'étoiles. Les molécules se forment par des collisions entre des composés plus simples. elles se cassent sous l'effet du rayonnement ultraviolet, ou lors de collisions avec d'autres molécules. On constate qu'elles sont formées des mêmes composants que ceux que l'on trouve dans le système solaire : hydrogène, oxygène, carbone, azote, soufre.

Ces éléments sont formés au sein des étoiles, par fusion thermonucléaire. Ils sont dispersés dans l'espace interstellaire à la fin de la vie de l'étoile, lors de ses explosions. Les particules de poussière qui constituent l'autre composante de la matière interstellaire constituent des nuages pouvant être opaques. Ils sont composés de silicates, mais comportent aussi de la matière organique.

Peu à peu, les astronomes parviennent à résoudre les différentes questions que pose l'évolution de l'Univers. Comment les atomes simples dont il est constitué comme l'hydrogène, le deutérium, l'hélium, peuvent-ils évoluer vers des éléments dont le noyau, formé de neutrons et de protons, est beaucoup plus complexe, puis vers des molécules absolument identiques à celles que l'on trouve dans les planètes du système solaire que nous visitons ? Tout d'abord, ce milieu proche, que nous connaissons bien, a-t-il subi la même évolution que le milieu interstellaire dont la composition a été donnée plus haut ?

Des éléments de réponse nous sont donnés par les comètes. Ces objets chevelus présentent, dans le système solaire, une caractéristique remarquable : les comètes sont constituées d'un noyau de glace et de silicates et se situent aux confins du système solaire dans une région appelée le nuage de Oort qui est situé à environ 100 000 unités astronomiques du Soleil. Sous l'influence de la perturbation induite par une légère variation de la distance d'une étoile voisine, certaines sont injectées vers l'intérieur du système solaire. Leur vitesse augmente rapidement le long de leur trajectoire parabolique ou elliptique et elles effectuent une ou plusieurs révolutions autour du Soleil.

Molécules inorganiques	Molécules organiques
<u>Molécules diatomiques</u> H ₂ dihydrogène OH ⁻ ion hydroxyle SiO oxyde de silicium SiS sulfure de silicium NS sulfure d'azote SO oxyde de soufre <u>Molécules triatomiques</u> H ₂ O eau N ₂ H ⁺ H ₂ S hydrogène sulfuré SO ₂ anhydride sulfureux <u>Molécules ayant 4 atomes</u> NH ₃ ammoniac	<u>Molécules diatomiques</u> CH méthylidine CH ⁺ ion méthylidine CN cyanogène CO oxyde de carbone CS sulfure de carbone C ₂ dicarbone <u>Molécules triatomiques</u> CCH éthyne HCN acide cyanhydrique HNC isocyanure d'hydrogène HCO ⁺ ion formyle OCS oxysulfure de carbone C ₃ tricarbonate <u>Molécules ayant 4 atomes</u> H ₂ CO formaldéhyde HNCO acide isocyanique H ₂ CS thioformaldéhyde <u>Molécules ayant 5 atomes</u> H ₂ CHN méthanimine H ₂ NCN cyanamide HCOOH acide formique HC ₃ N cyanoacétylène <u>Molécules ayant 6 atomes</u> CH ₃ OH méthanol CH ₃ CN cyanure de méthyle HCONH formamide <u>Molécules ayant 7 atomes</u> CH ₃ NH ₂ méthylamine CH ₃ C ₂ H méthylacétylène HCOCH ₃ acétaldéhyde H ₂ CCHCN, HC ₅ N <u>Molécules ayant 8, 9 atomes</u> HCOOCH ₃ acide acétique (CH ₃) ₂ O, C ₂ H ₅ OH, HC ₇ N <u>Molécules ayant beaucoup d'atomes</u> C ₆₀ fullerène PAH hydrocarbures aromatiques polycycliques

Table 1.

Liste des molécules détectées dans le milieu interstellaire.

Elles peuvent évidemment être happées par le champ gravitationnel du Soleil si elles passent trop près de cet astre. Lorsqu'elles se trouvent à moins de 3 ua du Soleil, sous l'effet de l'énergie reçue, leur noyau, constitué de glace et de poussière, produit une grande quantité de matière qui forme une queue illuminée sous l'effet du rayonnement solaire. Grâce à l'analyse spectroscopique dans les différents domaines accessibles du spectre électromagnétique (UV, visible, infrarouge, radio), de nombreuses molécules ont pu être identifiées: eau, hydrogène, hydroxyle, acide cyanhydrique, méthanol, hydrogène sulfuré.

Lors des rencontres des sondes interplanétaires Véra et Giotto avec la comète de Halley les 6, 9 et 13 mars 1986, un appareil appelé spectromètre de masse à impact des particules de poussière a mis en évidence un fait remarquable : la moitié environ des particules de poussière comporte une proportion importante d'éléments légers : carbone, hydrogène, oxygène et azote, ainsi que du soufre. Tous les grains de poussière contiennent, dans des proportions plus ou moins importantes, des silicates. Ce spectromètre de masse ne pouvait pas identifier les molécules, puisqu'il donnait l'abondance du composé en fonction de sa masse atomique : 12 pour l'isotope 12 du carbone, 14 pour l'isotope 14 de l'azote et ainsi de suite. De plus, la plupart des molécules étaient cassées sous l'effet de l'impact sur la cible. Une autre expérience montra qu'une partie du gaz émis par une comète est produit non pas par le noyau, mais par la poussière qui est éjectée du noyau. On a également pu montrer qu'une partie de ce gaz est constitué par du formaldéhyde et par des molécules organiques.

Nous touchons maintenant du doigt plusieurs constatations frappantes : il existe entre la matière interstellaire et celle dont sont constituées les comètes de nombreux points communs :

- deux composantes, gaz et poussière,
- présence d'eau ou de glace, de molécules organiques.

Ces points concernent directement les caractéristiques liées à la présence de la vie sur la Terre, qui impliquent nécessairement la présence de matériaux contenant les éléments légers carbone, hydrogène, oxygène et hydrogène.

La détermination de la composition de la matière des milieux interstellaire et cométaire a forcément des limites, puisqu'il n'est pas possible de prélever sur place des échantillons pour les rapporter sur Terre et les analyser au laboratoire, comme dans le cas de la Lune ou, dans le futur de Mars. Toutefois, nous disposons d'objets qui peuvent fournir énormément d'informations sur la composition du milieu extraterrestre : il s'agit des météorites. Nous employons le terme extraterrestre, parce qu'il est souvent difficile de préciser l'origine de ces corps qui tombent sur la Terre après un voyage dans le système solaire dont on ne connaît pas la trajectoire.

L'une des météorites qui a été les plus étudiées ces dernières années est la météorite de Murchison, qui a été trouvée en Australie en 1965. On a découvert dans cette météorite deux types de molécules organiques remarquables : des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des acides aminés. Par ailleurs, on a analysé la composition isotopique de cette météorite et on a trouvé que, contrairement au système solaire, elle présente un enrichissement fortement marqué en isotopes stables lourds : $^{13}\text{C} < ^{15}\text{N} < \text{D}$

La découverte d'acides aminés a évidemment suscité un certain doute sur la validité de ce résultat, car il est facile d'introduire des impuretés lors d'une analyse chimique. Cet argument critique semble à présent avoir été abandonné, et pour deux raisons (Engel, Macko, 1997) :

- La météorite ne contient pas les acides aminés que l'on rencontre le plus fréquemment dans les protéines communes : sérine, thréonine, tyrosine, phénylamine, histidine, lysine, acide aspartique.

- Par contre, elle contient un excès d'acides aminés ayant une nature différente : alanine, acide glutamique, acide aspartique. De plus, le pouvoir rotatoire de ces acides aminés "météoritiques"

est très différent du pouvoir rotatoire des mêmes acides aminés rencontrés dans les protéines.

Nous entrons ici dans le vif du sujet car les acides aminés qui viennent d'être cités appartiennent à la famille des 20 acides aminés qui entrent dans la composition de toutes les protéines. Or, les protéines sont indispensables pour que la vie puisse exister. Sans protéines, il n'y a pas de réplication possible de l'ADN, c-à-d. que l'une des conditions indispensables à la vie : la reproduction, ne peut pas être assurée.

La présence d'acides aminés, qui sont des molécules complexes de masse moléculaire comprise entre 70 et 200 n'a pas encore été mise en évidence dans les comètes ou le milieu interstellaire, mais il faut remarquer que les atomes et radicaux qui les composent ont été détectés dans les deux milieux : carbone sous forme C_2 , C_3 , radicaux CN , CH , NH_2 , fonction acide COOH . On peut en conclure que les constituants, ingrédients si l'on préfère, nécessaires pour "fabriquer de la vie" sont tout-à-fait présents dans l'Univers. Ces éléments ont été élaborés en plusieurs étapes : d'abord par formation des atomes au sein des étoiles, puis par un ensemble de processus chimiques dans la matière interstellaire. Certains scientifiques ont notamment suggéré qu'une partie de l'eau et de la matière organique présentes sur Terre a été apportée par les comètes (Oro, 1961).

Les conditions nécessaires à l'apparition de la vie

Entre la présente description de la matière qui constitue l'Univers, qui est somme toute très partielle, et les formes élaborées de la vie que nous connaissons actuellement, il existe une étape énorme et difficile à franchir. Pourtant, l'astronome n'hésite pas à faire le pas. Pour cela, il comprime les chiffres employés pour mesurer les distances et les temps. C'est très facile pour lui : il lui suffit d'adopter une échelle logarithmique en se servant des puissances de 10. En étant largement aidé par le biologiste et le biochimiste, qui ont un objectif pratiquement identique, il n'hésitera pas à élaborer un am-

bitieux scénario pour tenter d'expliquer comment la vie a pu prendre naissance.

Il est indispensable, pour faire fonctionner un organisme vivant, de lui fournir trois types d'aliments, que nous appellerons "nutriments" :

- les nutriments glucidiques et lipidiques qui satisfont les besoins énergétiques de l'organisme,

- les nutriments protidiques que l'organisme va employer pour construire sa propre matière. Ces nutriments sont formés des 4 éléments chimiques principaux C, H, O, N et de 2 éléments en moindre proportion : P et S. Ils contiennent les acides aminés à partir desquels seront fabriquées les protéines. Les acides aminés ont un rôle clé dans l'élaboration et le renouvellement de la matière vivante. On a montré que les 8 acides aminés figurant dans la table 2 constituent un minimum indispensable à la survie de l'homme.

isoleucine leucine lysine méthionine phénylalanine thréonine tryptophane valine
--

Table 2 : acides aminés indispensables à la vie de l'homme
--

Ces 8 acides aminés font partie d'un ensemble de 20 acides aminés à partir desquels sont fabriquées les protéines (Table 3).

Les acides aminés permettent à la matière vivante de "fonctionner", mais ils interviennent également dans le processus de reproduction et de renouvellement de cette matière. Ils entrent en effet dans la composition de l'ADN et de l'ARN qui sont les deux acides nucléiques à la base de toute forme de vie. La différence essentielle entre ces deux composés tient au fait que l'ADN est capable de modifier le caractère héréditaire alors que l'ARN ne possède pas cette propriété.

acide aspartique
acide glutamique
alanine
arginine
asparagine
cystéine
glutamine
glycine
histidine
isoleucine
leucine
lysine
méthionine
phénylalanine
proline
sérine
thréonine
tryptophane
tyrosine
valine

Table 3 :
acides aminés entrant
dans la composition des
protéines.

Vers les années 1950, on connaît la composition de l'ADN contenu dans les noyaux cellulaires. Il comporte :

- de l'acide phosphorique,
- un sucre : le désoxyribose,
- quatre bases organiques azotées :
* puriques : adénine, guanine,
* pyrimidiques : thymine, cytosine.

En 1953, Crick et Watson montrent que l'ADN est une macromolécule extrêmement longue qui a la forme d'une échelle qui s'enroule en "double hélice". Cette molécule a une largeur de 2 nm pour une longueur de quelques cm. Les proportions sont celles d'un "mètre" de couturière qui aurait une largeur de 1 cm et une longueur de 50 km. Les barreaux de l'échelle sont constitués par les bases azotées : adénine-thymine, toujours associées et guanine-cytosine, également toujours associées. Les montants de l'échelle sont constitués par le désoxyribose et l'acide phosphorique.

L'ADN est donc une structure moléculaire constituée par un enchaînement de séquences de nucléotides (un nucléotide = phosphate + sucre + base azotée).

Les liaisons entre les molécules des barreaux de l'échelle sont des liaisons hydrogène, fragiles.

Par contre, les liaisons entre les molécules qui constituent les montants sont des liaisons covalentes, beaucoup plus solides que les liaisons hydrogène.

Chacun des deux montants constitue un brin de la molécule d'ADN. La molécule d'ARN présente la même structure que la molécule d'ADN avec les différences suivantes :

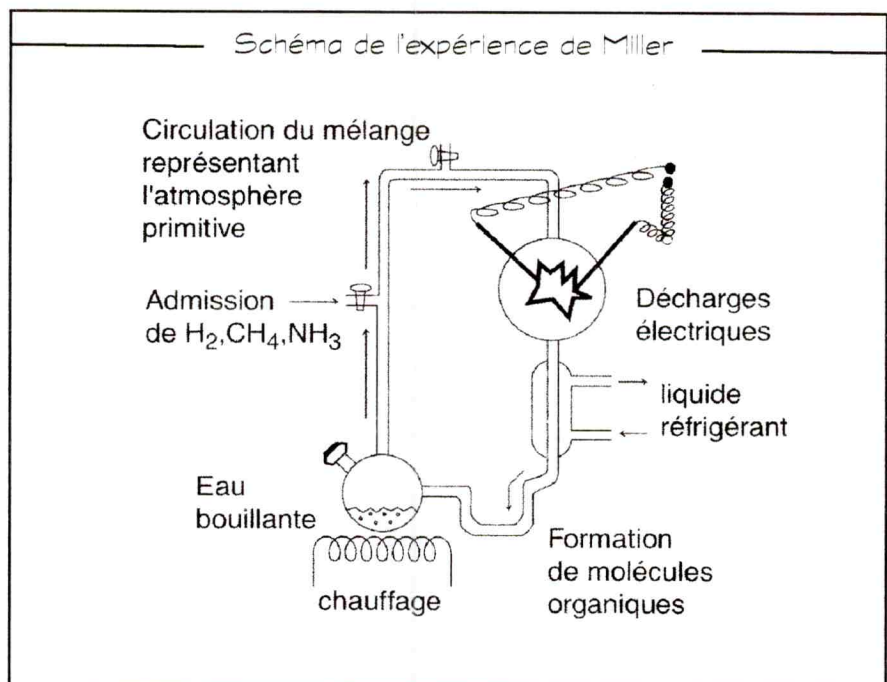
- la thymine, base azotée, est remplacée par l'uracile,
- le désoxyribose est remplacé par le ribose,
- la molécule d'ARN n'est constituée que d'un seul brin. Elle ne comporte qu'une seule chaîne de nucléotides dont la séquence est complémentaire de celle de l'un des deux brins de la molécule d'ADN dont l'ARN transmet le code. On peut comparer le brin de la molécule d'ADN et son ARN correspondant à une photographie et à son négatif, avec la différence relative au remplacement de la thymine par l'uracile.

Le mécanisme de réplication de l'ADN est remarquable car il permet d'une part à la cellule de se dupliquer et d'autre part de préserver l'identité de l'espèce en favorisant éventuellement une meilleure adaptation à son environnement. Les deux chaînes de la molécule d'ADN s'écartent par rupture des liaisons hydrogène fragiles entre les bases azotées. En face de chacun de ces deux brins qui sont maintenant séparés

vient se placer un brin nouveau qui s'est formé en incorporant les nucléotides dispersés dans la cellule. On constate en effet que la quantité d'ADN double au moment de la division cellulaire. Les bases azotées étant complémentaires, chaque molécule fille d'ADN qui vient de se former est identique à la molécule initiale ; mais, sur les deux chaînes de nucléotides, elle en comporte une nouvelle, identique à la moitié qui s'est détachée.

L'ADN est la molécule de l'hérédité. elle comporte les gènes, fragments d'ADN dans lesquels la succession des nucléotides constitue l'information génétique sous forme d'un code. Le déchiffrement de ce code, ou génome, occupe, dans une mémoire d'ordinateur, une taille de 600 millions d'octets dans le cas du génome humain. La séquence des bases azotées, prises par groupes de trois, forme les codons qui définissent un acide aminé spécifique. L'ADN des gènes est donc indispensable pour déterminer la séquence spécifique des acides aminés dans les protéines. Or, les protéines accomplissent de nombreuses fonctions essentielles dans l'organisme notamment en tant qu'enzymes.

Dès le début de la biochimie, des scientifiques ont tenté de recréer, au laboratoire, les conditions qu'ils supposaient être propices au développement de la vie. Sans avoir cette ambition,



Urey et Miller (1953) mirent au point une expérience qui est restée célèbre et a été répétée par de nombreux groupes à travers le monde. L'expérience consistait à chauffer un mélange d'eau, de méthane et d'ammoniac et à l'exposer à des décharges électriques. L'ensemble était censé simuler une atmosphère planétaire primitive, les décharges électriques remplaçant les orages dans l'atmosphère. Au bout de quelques jours, S. Miller vit apparaître un dépôt brunâtre dans lequel l'analyse chimique révéla la présence d'acides aminés. L'expérience a été répétée en modifiant certaines conditions et notamment en remplaçant les décharges électriques par du rayonnement UV. Dans la plupart des cas, l'apparition de matière organique assez élaborée comme des acides aminés fut observée. Les conditions recréées dans les expériences de ce type sont des conditions supposées être prébiotiques. A l'heure actuelle, les scientifiques sont parvenus à effectuer la synthèse des 20 acides aminés qui sont nécessaires pour former les protéines.

De nombreuses tentatives ont été effectuées pour atteindre l'étape suivante, c-à-d. la synthèse des acides nucléiques, molécules fondamentales de la vie. Pour l'instant, la plupart de ces expériences se sont soldées par des échecs, et les scientifiques ne sont pas encore parvenus à reproduire une molécule d'ADN dans des conditions biologiques.

Une expérience, toutefois, a fourni des résultats encourageants. Cette expérience, conduite par le Dr Szostak au General Hospital of Massachussets, a permis de reproduire des fragments de filaments d'ARN. L'ARN se duplique plus facilement que l'ADN et l'on estime généralement que, tout au début des origines de la vie, c'est l'ARN qui assurait la réplication des cellules primitives, l'ADN n'ayant fait son apparition que lors d'une phase ultérieure.

L'apparition et l'évolution de la vie sur Terre

La Terre a pris naissance, comme les autres planètes il y a 4,55 milliards d'années à partir d'un énorme ensemble, appelé généralement la nébuleuse primitive, constitué de particules de pous-

sière, de cailloux et de gaz, le tout animé d'un vigoureux mouvement de rotation. Le concept de nébuleuse protosolaire a été émis par Laplace, ce qui amène souvent les astronomes à appeler nébuleuse de Laplace l'ensemble constitué par les matériaux où se sont formées les planètes. Sous l'effet de la gravité, la matière de la nébuleuse se condense et forme d'une part l'étoile centrale, le Soleil, et d'autre part des objets dont les dimensions sont de quelques dm à quelques km. Ces objets sont appelés planétésimaux. Ils s'entrechoquent et s'agglomèrent pour former les planètes. Toutefois, les collisions se poursuivent, pouvant être extrêmement violentes.

Dans le cas de la formation et de l'évolution de la Terre, c'est une rencontre avec un très gros objet de ce type qui, créant des énormes lambeaux de magma, donna naissance à la Lune. Le bombardement intense des planètes dura plusieurs centaines de millions d'années et ne prit véritablement fin que vers -3,8 milliards d'années. Entretemps, une vaste étendue d'eau et de glace avait du recouvrir la Terre, au moins en partie.

La première étape vers l'édification de la vie consiste à former des molécules organiques complexes du type ATP (adénosine-triphosphate) à partir de molécules plus simples comme CO, CO₂, H₂CO ou HCN. Plusieurs hypothèses sur les conditions de formation de ces composés sont proposées :

- apport de matière sous forme de poussière interplanétaire et de composés comme du formaldéhyde, de l'ammoniac ou de l'acide cyanhydrique. Ces composés se déposent dans les océans et donnent naissance à des molécules complexes dans les endroits où l'eau existe sous forme liquide. Un de ces composés serait un acide aminé, la glycine.

- une variante de cette hypothèse consiste à reprendre l'idée de Darwin et à imaginer que de petites étendues d'eau, des mares, existaient à la surface de la Terre et que, progressivement, le processus de l'évolution a créé dans ces réservoirs des assemblages de molécules aboutissant d'abord à de l'ATP, puis à de l'ARN.

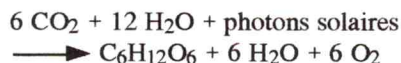
- une autre hypothèse consiste à prendre en compte le volcanisme initial

de la planète, qui devait être très intense et produire des geysers et des sources hydrothermales. Le monoxyde de carbone et les radicaux méthyle auraient ainsi formé de l'acide acétique activé, qui intervient dans la synthèse de nombreux composés organiques.

Il y a 3,8 milliards d'années, la première grande étape a donc été vraisemblablement la synthèse de molécules d'ARN, et l'on suppose que ces molécules étaient capables de se dupliquer. Les premiers organismes étaient sans doute très simples, sans noyaux. Ils devaient ressembler aux cellules procaryotes, aux bactéries et aux virus. Au demeurant, on a retrouvé dans des milieux naturels très anciens des bactéries appelées archéobactéries pouvant donner une idée de l'organisation des premiers organismes vivants ; elles comportent des ribosomes et un simple chromosome circulaire dans du cytoplasme, le tout enveloppé dans une membrane.

L'évolution des cellules jusqu'au stade de cellules eucaryotes (avec noyau) a duré plus d'un milliard d'années. Le point très important dans ce processus est la formation des mitochondries, processus évolutif résultant vraisemblablement, selon Margulis (1970), de l'absorption de bactéries procaryotes. Les mitochondries permettent la respiration aérobie.

Pendant ce long intervalle de temps, existent déjà des organismes simples, assemblages de cellules procaryotes appelés cyanophycées. On trouve en Australie, sur les rives de la Baie Shark, des organismes appelés stromatolithes constituant des petits massifs qui sont d'une certaine manière des survivants de cette époque datant d'il y a trois milliards d'années. Ces ensembles, ainsi que les cyanobactéries et les algues bleues sont dotées d'activité photosynthétique. Cette spécificité est fondamentale car, peu à peu, sous l'effet du rayonnement solaire, elle conduira à une transformation d'une partie du dioxyde de carbone de l'atmosphère en oxygène. On peut résumer le processus photosynthétique par le bilan global suivant :



Certaines cellules, progressivement, comportent des chloroplastes, sortes de petits ballons remplis de chlorophylle, qui proviennent sans doute de l'absorption de cyanophycées.

L'enrichissement de l'atmosphère en oxygène constitue un tournant fondamental qui a pour conséquence des changements radicaux et une accélération importante dans le lent processus évolutif. Il ne faut tout d'abord pas perdre de vue le fait que l'oxygène pur présente une certaine toxicité. Il a donc fallu que la cellule eucaryote s'adapte à cette modification. L'apparition de la reproduction sexuée il y a environ un milliard d'années constitue également une étape importante car elle permet, à cause du mélange des gènes au cours de la mitose, de créer un grand nombre d'espèces. Il y a environ 700 millions d'années, les premiers ensembles pluricellulaires se développent. Il s'agit d'organismes marins au corps mou appelés édicariens. Une grande explosion de la vie marine se produira dans les deux cents millions d'années suivants : invertébrés, éponges, méduses, poulpes, anémones de mer, algues vertes. Vers - 500 millions d'années, l'espèce dominante est constituée par les trilobites. Les premiers invertébrés à carapace apparaissent.

Pour que les premiers invertébrés s'aventurent à quitter les marécages, une condition essentielle doit être réalisée : il faut qu'ils soient protégés de la partie X et UV du rayonnement solaire. Ce filtrage est obtenu dans le domaine X et UV lointain grâce à l'oxygène. Dans l'UV moyen entre 200 et 330 nm le filtre est constitué par l'ozone dont la présence au niveau stratosphérique est liée à l'action du rayonnement solaire sur l'oxygène suivant le processus :



Formation de l'ozone :



M est une troisième molécule qui ne réagit pas avec l'oxygène, mais qui permet d'absorber une partie de l'énergie produite. Il s'agit d'azote principalement.

Il est probable que les plantes ont largement précédé les animaux dans

l'occupation de la terre ferme. Ces plantes ont d'abord été, il y a 500 millions d'années, des champignons. Puis des plantes à chlorophylle s'adaptèrent à la vie dans l'atmosphère. Vers - 350 millions d'années, la flore était dominée par des prêles, fougères géantes, lycopodes. Les espaces côtiers découverts à marée basse ont sans doute joué un rôle important dans cette colonisation progressive du sol terrestre. En ce qui concerne les animaux, l'adaptation n'a pu se faire qu'au moyen de systèmes physiologiques adéquats aux fonctions respiratoire, digestive, sensorielles.

Il y a 300 millions d'années, les amphibiens et les insectes géants constituaient le règne animal. Ils cédèrent peu à peu la place dominante aux reptiles qui apparurent vers - 250 millions d'années. Suivirent les dinosaures, dont les nombreuses variétés régnèrent sur la planète jusqu'à la date fatidique de - 65 millions d'années où ils disparurent soudainement. Il est vraisemblable que cette disparition brutale a été due à l'impact d'un astéroïde ou d'un noyau de comète. Cette hypothèse, proposée par Alvarez père et fils en 1980, apparaît de plus en plus réaliste. Deux observations viennent l'étayer :

- la première est la présence d'un taux d'iridium anormalement élevé dans la couche K-T (crétacé-triassique) qui date précisément de cette période. L'iridium aurait été contenu dans le nuage de poussière, recouvrant toute la planète, qui aurait résulté de la rencontre du corps céleste avec la Terre, ce qui explique l'anomalie de composition, l'iridium n'étant pas, dans ce schéma, d'origine terrestre.

- la deuxième est l'identification du cratère qui a été créé par cet impact. Bien qu'il soit recouvert de sédiments, il a été localisé, grâce à des sondages, dans le golfe du Mexique près de Chicxulub, centré sur l'extrémité de la péninsule du Yucatan.

L'éventualité de collisions catastrophiques de ce type a depuis longtemps fait l'objet de calculs de la part des astronomes. Lorsqu'elles se produisent, il en résulte évidemment une disparition plus ou moins étendue des espèces qui vivent sur terre. La fréquence de tels événements est d'environ un impact catastrophique tous les 100 millions

d'années. Plus loin dans le temps, il y a 214 millions d'années, le début de l'ère triassique a également été marquée par une collision catastrophique qui a pris la forme d'un impact multiple analogue à celui de la comète Shoemaker-Levy 9 avec Jupiter en 1994. L'événement terrestre a été reconstitué à partir des traces actuelles des impacts en tenant compte de la dérive des continents sur cette période de 214 millions d'années ((Spray et al., 1998). Cinq cratères d'âge comparable apparaissent alignés :

Obolon (Ukraine), Rochechouart (France), Manicouagan, Saint Martin (Canada) et Red Wing (Etats-Unis). Ces cratères ont vraisemblablement été créés par l'impact d'un noyau de comète fragmenté comme celui de Shoemaker-Levy 9.

Conclusion

Le système solaire peut sembler maintenant un peu "étroit" pour aborder l'autre problème relatif à la vie : sommes-nous les seuls êtres vivants de par le monde ? En fait, il n'en est rien car, précisément, la résolution de ce problème se fera soit depuis la Terre, soit depuis des satellites ou la station spatiale, ou encore depuis la Lune. Etant donné qu'il n'est pas possible de quitter le système solaire pendant la durée d'une ou de plusieurs vies humaines consécutives, il n'est pas possible d'envisager d'autre méthode que celle qui consiste à construire des instruments d'observation de plus en plus puissants dans ces sites qui sont maintenant accessibles. La découverte, par la sonde Clémentine de quantités de glace importantes situées aux pôles de la lune constitue une découverte fondamentale car elle permet de prévoir l'installation de bases en des régions où, précisément, les conditions d'exposition au soleil semblent acceptables. Ce problème étant réglé, il s'agit de progresser rapidement dans la détection de planètes présentes éventuellement autour des quelques centaines d'étoiles les plus proches. Rappelons que la détection de planètes autour de l'étoile 51 Peg par Mayor et Queloz à l'Observatoire de Haute Provence a été confirmée par d'autres équipes.

Ces travaux ont fait germer dans le cerveau d'Alain Léger (IAS, Orsay) une idée de détection de la vie sur d'autres planètes par une méthode fort élégante dont voici le principe. La vie ne peut exister, en principe, que si l'atmosphère contient suffisamment d'oxygène. Or, il en résulte l'existence d'une couche d'ozone dont l'épaisseur optique dépend de l'intensité du champ de rayonnement dû à l'étoile. Il suffit donc de détecter cet ozone par l'une des méthodes classiques employées sur Terre : absorption UV, ou visible, ou émission infrarouge, pour avoir une preuve sérieuse de la présence de vie sur la planète étudiée. Le problème de la vie dans l'Univers, et de son apparition sur une planète est absolument passionnant. Il est constitué d'un puzzle qui, comme le code génétique, sera peu à peu déchiffré.

Références

Alvarez L.W., Alvarez W., Azaro F., Michel H.V., 1980, extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction, *Science*, 208, pp. 1095-1108.

De Vaucouleurs G., 1951, Physique de la Planète Mars, Albin Michel, 420 pages.

Engel M.H., Macko, 1997, Isotopic evidence for extra-terrestrial non-racemic amino-acids in the Murchison meteorite, *Nature*, 389, 265-268.

Grand Atlas de l'Astronomie (Le), Editions de l'Encyclopaedia Universalis, 472 pages.

Haldane J.B.S., 1929, The origin of life, *Rationalist. Annual.*, 148, pp. 3-10.

Jastrow R., 1971, Des Astres, de la Vie et des Hommes, Le Seuil, 199 pages.

Léger A., 1997, Le projet Darwin de détection de vie extraterrestre, Institut d'Astrophysique Spatiale, Orsay.

Miller S.L., 1953, *Science*, 117, 528.

Morgan J., Warner M., Chicxulub working group, Brittan J., Buffler R., Camargo.

A., Christeson G., Denton P., Hildebrand A., Hobbs R., Macintyre H.,

Mackenzie G., Maguire P., Marin L., Nakamura Y., Pilkington M., Sharpton V., Snyder D., Suarez G., Trejo A., 1997, Size and morphology of the Chicxulub impact crater, *Nature*, 390, pp. 472-476.

Oparin A.I., 1924, *Proiskhodenie Zhizni*, Moskovskii Rabotchii.

Une traduction en anglais se trouve publiée en annexe dans Bernal J.D., 1967, The origin of life, World Publ. Co., Cleveland.

Oro J., 1961, Comets and the formation of biochemical compounds on the primitive Earth, *Nature*, 190, pp. 389-390.

Planetary Report (The), 1997, 17, 1, 29 pages, publication de la Planetary Society.

Spray J.G., Kelley S.P., Rowley D.B., 1998, Evidence for a late Triassic multiple impact event on Earth, *Nature*, 392, pp.171-173.

Watson J.D., 1968, La double hélice.



Informations pratiques

Le courrier concernant les CC peut-être envoyé à Orsay ou à tout membre du Comité de Rédaction mais il finit toujours par passer entre les mains de Martine Bobin, coordinatrice de ce même comité.

Attention, nouvelle adresse à partir du 20 juin 1999 :

Martine Bobin
18, Chemin des Bienfaits, 91530 LE VAL SAINT-GERMAIN.

Nous donnons à l'imprimeur un dossier papier et nous travaillons sur le logiciel CLARISWORKS 5.0.

Nous pouvons lire tous les formats d'enregistrement de textes sur Word, MAC ou PC (.txt ; .doc ; .rtf). mais le logiciel WORKS pose quelques petits problèmes. N'oubliez pas de joindre à la disquette un texte papier. Mais si vous ne possédez pas d'ordinateur n'hésitez pas à envoyer vos articles et vos avis : nous pouvons aussi les taper !

Pour les photos, envoyez un exemplaire papier photo (que nous vous rendrons si vous le souhaitez). Evitez les scans car c'est l'imprimeur qui travaille à partir des originaux.

Sophie reprenait les dessins à l'ordinateur nous n'avons ni le temps ni la compétence pour ce travail : les dessins seront simplement scannés. Envoyez donc des originaux de bonne qualité si possible ou mieux encore le fichier original, de préférence format TIFF, EPS, JPG, BMP ou GIF. Nous pouvons travailler sur Photoshop et Illustrator ; évitez autant que faire se peut les niveaux de gris dans les dessins : ils passent mal à l'impression.

Merci de votre collaboration.

La rédaction



Le ciel des pêcheurs catalans

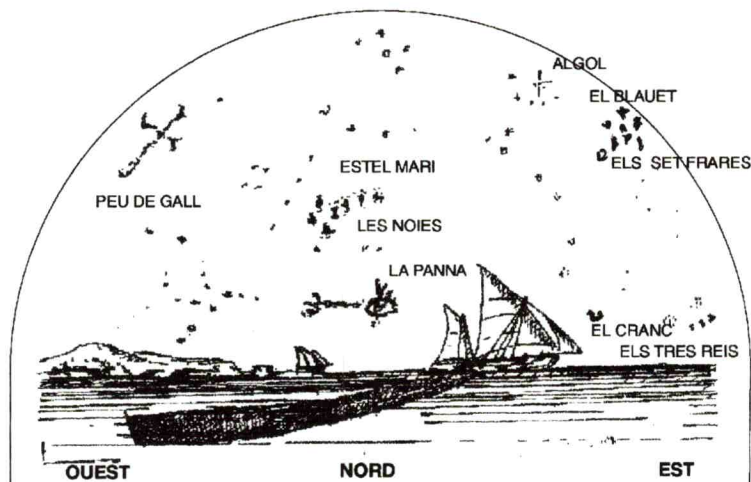
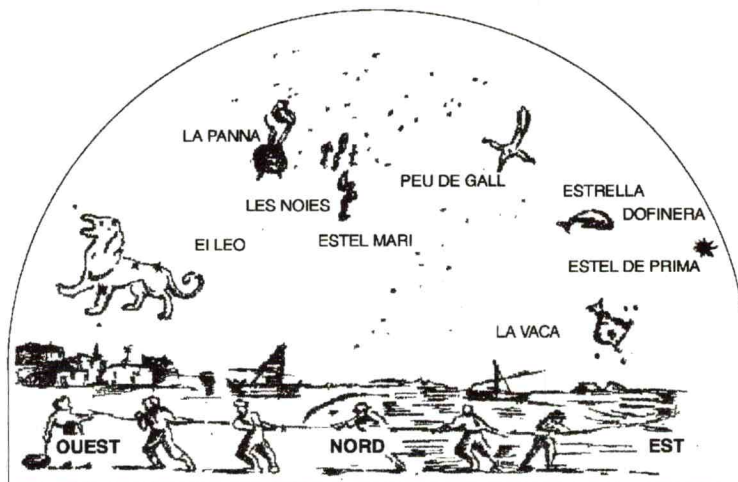
Charles Henri Eyraud

Notre collègue Charles Henri Eyraud, formateur en IUFM, a interprété différentes histoires ou légendes de la littérature pour en faire des petits problèmes pour l'école élémentaire et le collège. Il a choisi ces histoires pour leur fraîcheur et leur naïveté. Celle que nous publions ici nous parle du ciel des pêcheurs de Catalogne¹.

C'est un mousse qui fait frire une poêlée de poissons, mais il s'y prend si mal qu'il n'arrive pas à maintenir la poêle bien à plat et que toute l'huile s'en va d'un côté. Quand il essaie de bien la répartir, il incline trop la poêle et l'huile va de l'autre côté. Et cela dure depuis que le monde est monde et durera tant que le monde existera, car le jour où le mousse arrivera à faire cuire sa friture, ce sera la fin du monde.

**A quelles constellations
sont associées les deux légendes de cette page ?**

Des jeunes filles, un soir, dansaient sur la place. Voilà qu'en plein milieu du bal, le Saint Sacrement vint à passer. Le musicien, en homme de bien, cessa de jouer. Mais elles le maltraitèrent, le frappèrent et le pauvre musicien dut jouer contre son gré. En punition de ce sacrilège, les sept danseuses furent changées en étoiles. Parfois on dit qu'elles sont seulement six et tournent autour de l'étoile de Marie.



Écris la date correspondante au dessous de chaque ciel vu vers 21h le soir

Sur la figure, identifie les constellations Lion, Pégase, Cygne, Petite Ourse parmi LA VACA (parfois une raie), PEU DE GALL (patte de poule), EL LEO, LES SET NOIES

Identifie l'Étoile Polaire, la Planète Vénus, les étoiles du Dauphin, les Pléiades, le baudrier d'Orion, parmi ESTRELLA DOFINERA, ESTEL MARI, ESTEL DE PRIMA, ELS TRES REIS, ELS SET FRARES

1 Note bibliographique : Joan AMADES, "Des étoiles aux plantes", éd. du Mirlail.



Maquette du système solaire réalisée en CM₂

Mme Mirabello et Mr Grange

Ce projet fait suite à un travail sur le système solaire commencé en CM₁ et poursuivi en CM₂ à l'école primaire "les anémones" de Lyon¹.

Mme Mirabello et Mr Grange nous présentent leur travail avec les élèves, les aspects positifs et les difficultés rencontrées.

Au début de l'année scolaire 1998-1999, nous avons étudié le système solaire en reprenant ce qui avait déjà été vu l'année précédente.

Dans un premier temps, les élèves ont effectué un travail de recherche sur documents, livres, logiciel...pour établir une carte d'identité du système solaire :

Le Soleil : taille ; couleur apparente ; composition.

Les planètes : nom des différentes planètes, ordre en partant du Soleil, taille, couleur apparente, distance au Soleil, composition (planètes telluriques ou gazeuses), période de révolution autour du Soleil, période de rotation, satellites.

Ce travail restait encore trop abstrait pour les élèves. Ils comprenaient bien les différents thèmes abordés, mais ils avaient une certaine difficulté à se représenter mentalement le système solaire dans son ensemble et dans son fonctionnement.

La réalisation d'une maquette permettait de concrétiser ces différentes notions.

Les élèves ont commencé le travail sur la maquette mi-octobre et l'ont fini fin novembre. La réalisation des deux maquettes a donc duré 6 semaines.

Première étape : phase de découverte

Situation problème :
comment expliquer le système solaire aux petites classes ?

Un temps est consacré à la recherche des élèves puis chacun explique sa méthode ;

Réponses :

- faire un tableau avec les planètes du système solaire, en précisant pour chacune la couleur, le diamètre, la masse, la distance au Soleil, la distance à la Terre ;
- faire un grand dessin représentant le système solaire ;
- donner des explications par écrit autres que le tableau ;
- faire une maquette du système solaire ;
- montrer des documents, livres, photos ;

Discussion sur la pertinence des diverses propositions :

- le tableau proposé est trop complexe pour des CP, CE1, CE2 ;
- le dessin est intéressant mais les petits peuvent croire que les planètes sont plates ;

- les explications écrites sont aussi trop complexes ;
- la maquette est retenue à l'unanimité.

Deuxième étape : première approche des maquettes

Recherche individuelle :

- chaque élève dessine sur une feuille blanche une première ébauche d'une maquette du système solaire telle qu'il se l' imagine.

- Les différents dessins sont ensuite proposées.

Deux sortes de maquettes sont proposées par les élèves :

- une maquette fermée (dans un grand carton).

- une maquette ouverte.

11 élèves ont dessiné une maquette fermée et 11 une maquette ouverte. Deux groupes sont constitués.

Les deux groupes se séparent, dans un premier temps les élèves vont faire un tableau pour présenter les côtés positifs, les côtés négatifs, le matériel nécessaire.

Chaque groupe présente son tableau, un rapporteur explique et répond aux questions.

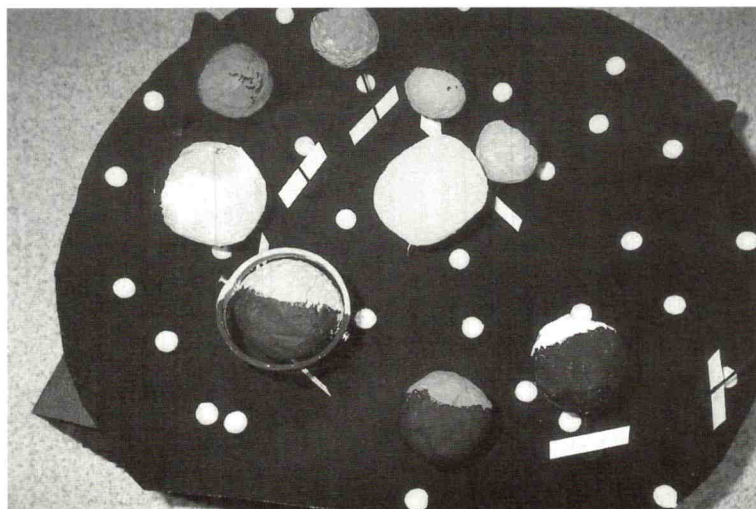
Troisième étape : contraintes liées aux maquettes

Chaque groupe cherche de son côté un plan de sa maquette et quelle sorte de matériel utiliser pour la réaliser.

Le groupe maquette ouverte réalise la difficulté de trouver un moyen pour que toutes les planètes fassent une révolution autour du Soleil. Deux projets sont retenus : **le tourne-disque** et **le sapin de Noël**.

Il est décidé de :

- respecter l'ordre des planètes, leurs couleurs, une taille approximative (petite, moyenne, grande),
- ne pas respecter les distances au Soleil,
- ne pas respecter la taille pour les mêmes raisons,
- ne pas respecter le temps de révolution, toutes les planètes auront le même (difficulté à trouver un système pour



Présentation de la maquette ouverte ; toutes les planètes ont été représentées ; on peut voir le jour et la nuit car une face de chaque planète a été peinte en noir.

chaque planète),

- ne pas montrer la rotation,
- faire une affiche pour expliquer ces décisions.

Le groupe maquette fermée retient comme projet la **boîte magique** et prend les mêmes décisions que le groupe maquette ouverte.

Chaque groupe présente son projet à l'autre groupe.

Quatrième étape : établissement d'un cahier des charges précis

Chaque groupe réalise un cahier des charges en précisant la liste du matériel, la répartition des rôles, les étapes de fabrication, une note explicative et établit un calendrier.

Liste du matériel pour la maquette ouverte :

- un carton assez épais,
- un système de pivot entre la planche et le carton,
- des boules de coton, des bandes de journaux pour les différentes tailles des planètes et du Soleil,
- de la colle forte ,

- des tiges en bois pour fixer les planètes,
- de la peinture pour les différents éléments de la maquette,
- marteau, scie ...

Liste du matériel pour la maquette fermée :

- une boîte de carton de largeur 70 cm de longueur 60 cm et de profondeur 50 cm,
- une planche en bois comme support,
- des boules de coton,
- un globe lumineux pour le Soleil,
- une prise électrique, des fils pour suspendre les planètes,
- de la peinture,
- de la colle forte,
- une cassette pour enregistrer les explications des élèves.

Cinquième étape : réalisation des maquettes

Chaque groupe établit une répartition des tâches de construction et d'explication :

- peindre en noir les bases (carton, planches...),

- modeler les planètes (boules de coton, bandes de journaux, colle...),
- peindre les planètes, le Soleil, en respectant les couleurs observées sur documents,
- réaliser les affiches d'avertissement : taille approchée seulement, distances non respectées,
- réaliser des affiches d'explication, de publicité (exposition),
- réaliser des cartes d'invitation pour l'exposition,
- enregistrer une cassette d'explication,
- dessiner les dieux de la mythologie grecque représentant les planètes.

Cette étape a été beaucoup plus longue que prévu. Les élèves se sont pris au jeu et ont voulu sans cesse rajouter des détails, perfectionner les maquettes.

Sixième étape : présentation des maquettes

Nous avons fait le choix de ne faire qu'une seule journée d'exposition pour des raisons de temps et de disponibilité de salle.

Nous avons constitué 7 groupes de 3 élèves pour présenter à tour de rôle le travail réalisé. Les autres classes de l'école ont reçu une invitation puis une feuille pour choisir un horaire. Chaque groupe d'élèves de CM2 a donc présenté le travail à une classe et a répondu aux questions des maîtres et des autres élèves.

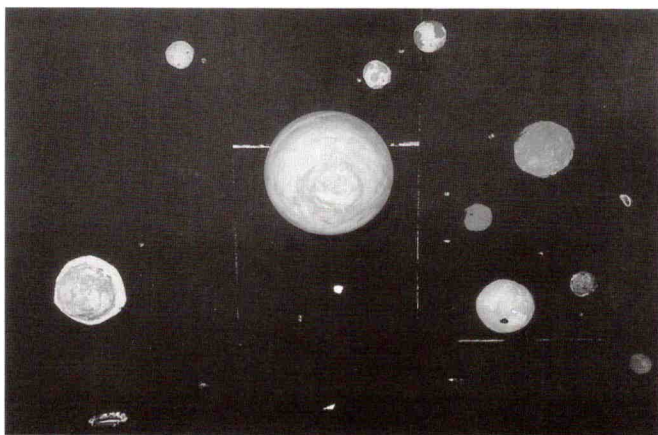
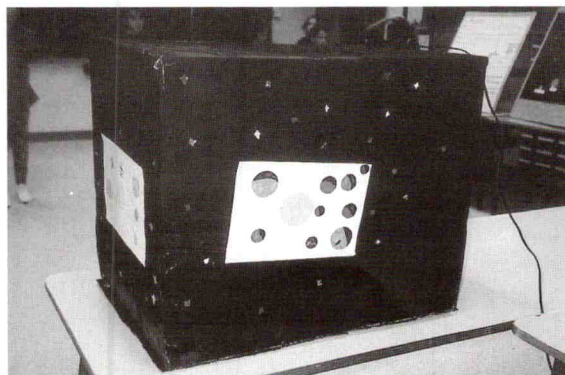


Photo de la maquette fermée vue par dessous avec le Soleil (lampe) éteint.

La maquette fermée lors de sa présentation aux autres classes. Les élèves ont pris la peine de dessiner le plan de vision de chaque trou qui permettait de regarder l'intérieur.



A partir de 16h30, les parents pouvaient eux aussi visiter l'exposition.

Conclusion du projet maquette :

La durée du projet a été de 6 semaines à raison de deux séances par semaine. L'enthousiasme des élèves n'a pas baissé ni disparu. Ils se sont complètement investis dans ce travail.

Points négatifs :

- la durée, peut-être trop longue (pour nous adultes),
- la perte de l'objectif initial au cours des différentes séances,

l'aspect technique a supplanté l'aspect spécifique. Les élèves n'ont retenu de ce projet que la construction physique des maquettes. Au bilan final ils ont été incapables de redonner les motivations spécifiques du départ, à savoir "expliquer le système solaire aux autres classes de l'école". Les connaissances acquises en début d'année sur ce sujet ont été occultées par le plaisir de la réalisation de la construction.

Remédiation : il faut, pour une période aussi longue, faire régulièrement un retour sur l'objectif initial, faire une mise au point en théorie, revoir les connaissances.

Points positifs :

- le plaisir évident des élèves à concevoir, rechercher, construire la maquette. Ils ont présenté leur travail en disant : "nous l'avons faite de nos propres mains".
- des élèves bloqués par l'écrit et l'oral dans des matières traditionnelles (timidité, refus de l'écrit,...) ont participé, et même ont pris des initiatives pendant les séances. Certains ont été fiers devant leurs parents : "tu as vu, maman, c'est moi qui ai écrit".
- la prise de conscience qu'un texte explicatif écrit, créé par eux, pose certains problèmes lors du passage à l'oral.

Note :

1) 238, rue du Plateau
La Duchère 69009 Lyon



Rencontre avec des astéroïdes

Didier Demarque et cinq élèves du lycée de l'Escaut de Valenciennes.

L'Association Nationale Sciences et Techniques Jeunesse organise, depuis quelques années l'opération "Lycée de nuit" qui permet à des groupes de lycéens d'effectuer une mission d'observation dans un observatoire professionnel. L'A.N.S.T.J. met à disposition des groupes un de ses animateurs qui suivra le projet jusqu'à sa réalisation finale.

Le C.N.R.S. et l'I.N.S.U. mettent à disposition des techniciens et des astrophysiciens durant les missions afin d'assurer un accueil enrichissant des différents groupes.

L'atelier d'astronomie du lycée de l'Escaut de Valenciennes a pu mener à bien son projet d'observation d'astéroïdes à l'Observatoire de Haute Provence, du 14 au 18 mai 1998.

"Rendez vous avec Melpomène"

L'identification d'un astéroïde connu nécessitait de réaliser au moins six images prises à intervalles réguliers d'un quart heure environ, pour mettre en évidence son déplacement sur le champ d'étoiles. L'astéroïde sélectionné répondait au doux nom de Melpomène. Sa période orbitale est de 3,48 années.

La caméra CCD associée au télescope de 80 cm possède un champ de 4 minutes d'arc, Melpomène devait donc traverser ce champ en moins de 6 heures, durée tout à fait convenable pour satisfaire la nuit de ses jeunes soupirants. Les quatre nuits d'observation permettaient d'acquérir un nombre suffisant d'images pour déterminer les caractéristiques de la trajectoire de l'astéroïde.

Les performances des instruments mis à notre disposition à l'O.H.P. ne devaient pas permettre l'évaluation des variations de l'éclat de l'astéroïde au cours de sa rotation propre.

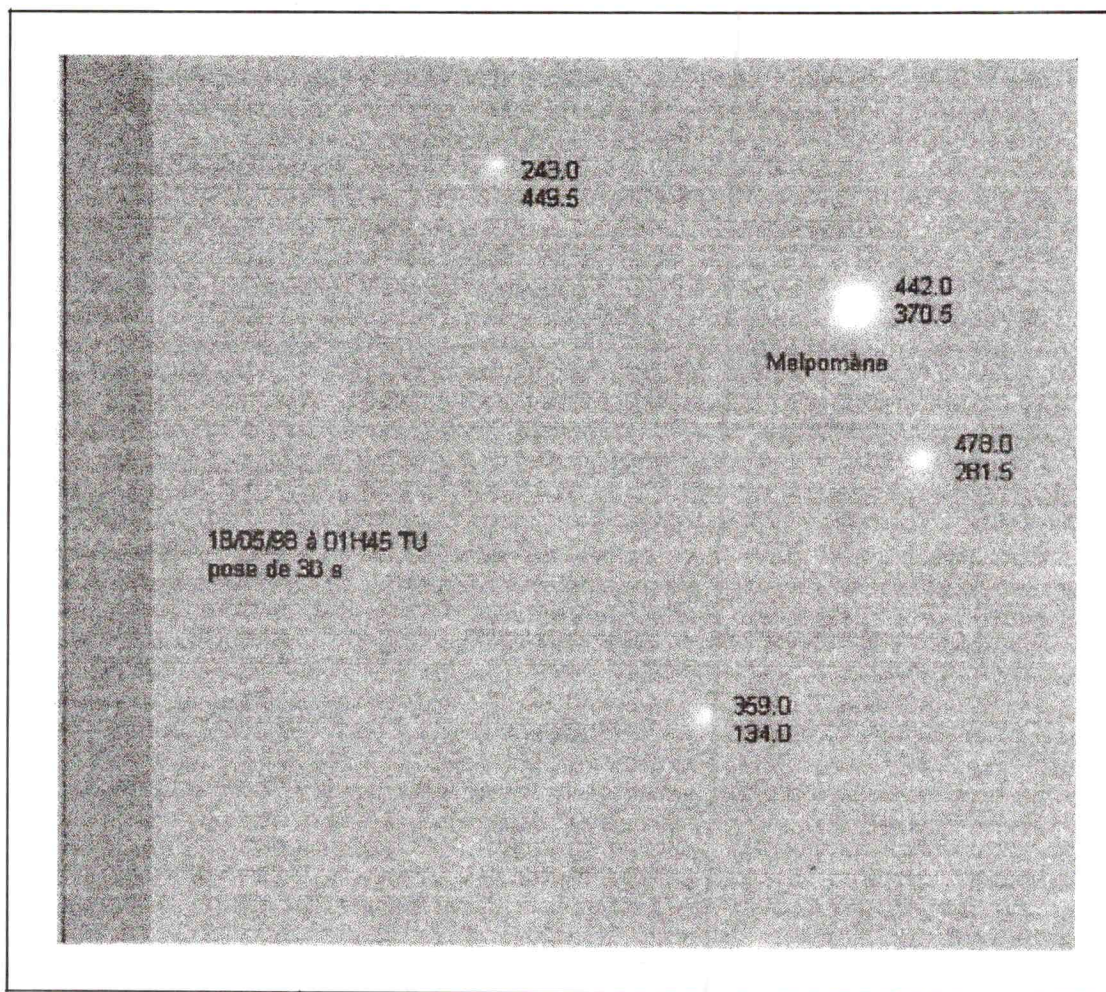
Préparation du projet

La préparation s'est déroulée, de janvier à mai, selon un calendrier établi avec les élèves. Ils ont consacré des plages horaires de trois heures, le mercredi après midi, pour s'initier aux techniques d'imagerie CCD et de traitement informatique des images à l'aide du logiciel PRISM et de l'ATLAS ASTRONOMIQUE DES PISES.

Pendant cette même période, les élèves ont suivi les activités hebdomadaires de l'atelier d'astronomie plus spécialement consacrées à l'examen des caractéristiques des trajectoires des astéroïdes. Les bases de données disponibles sur INTERNET ont été consultées pour sélectionner les astéroïdes observables durant la mission à l'O.H.P.

La mission d'observation à l'OHP

Durant notre séjour à l'O.H.P., nous avons disposé du télescope Cassegrain de 80 cm ouvert à $f/15$.



Sa distance focale est de 12 m, ce qui lui donne une échelle au foyer de 58 micron par seconde d'arc ; il est équipé d'une caméra CCD et d'un cryostat pour refroidir la caméra. Le capteur CCD est un Tektronix 512x512 pixels de 27 microns ; le champ utile est de 3,6' par 3,6'. Toutes les fonctions de la caméra sont pilotées par ordinateur depuis la salle de contrôle. Seuls, le maniement du télescope et la rotation de la trappe nécessitent la présence d'une personne dans la coupole.

Le premier soir un ingénieur de l'O.H.P. a répondu aux questions des élèves relatives à l'acquisition et au traitement d'images CCD. Le technicien de nuit a montré la manipulation des verniers pour afficher les coordonnées de l'astre et l'utilisation du temps sidéral donné par l'horloge de la coupole pour déterminer l'angle horaire. Le pointage étant réalisé, les acquisitions étaient lancées à l'aide du logiciel MIDAS à des intervalles de temps successifs d'environ 10 min pour espérer mettre en évidence

le déplacement de l'astéroïde dans le champ d'étoiles.

La mise au point de la caméra se faisait à l'aide d'une télécommande qui agissait sur la focalisation de l'image sur le capteur ; Les images sont correctement exposées si le niveau de gris le plus élevé atteint le tiers du niveau de saturation.

Nous n'avons pas bénéficié de bonnes conditions météo. Un violent orage de grêle nous a privé d'une nuit d'observation ; durant deux autres nuits, le ciel était nuageux et nous avons dû restreindre notre programme pour profiter des "fenêtres" de ciel clair. L'événement tant attendu eut finalement lieu durant la nuit magique du 18 mai ; nos jeunes astronomes découvraient fébrilement les images comme s'il s'agissait d'assister à une naissance... Nous disposions alors d'un nombre suffisant d'images exploitables pour évaluer la vitesse angulaire de déplacement de l'astéroïde.

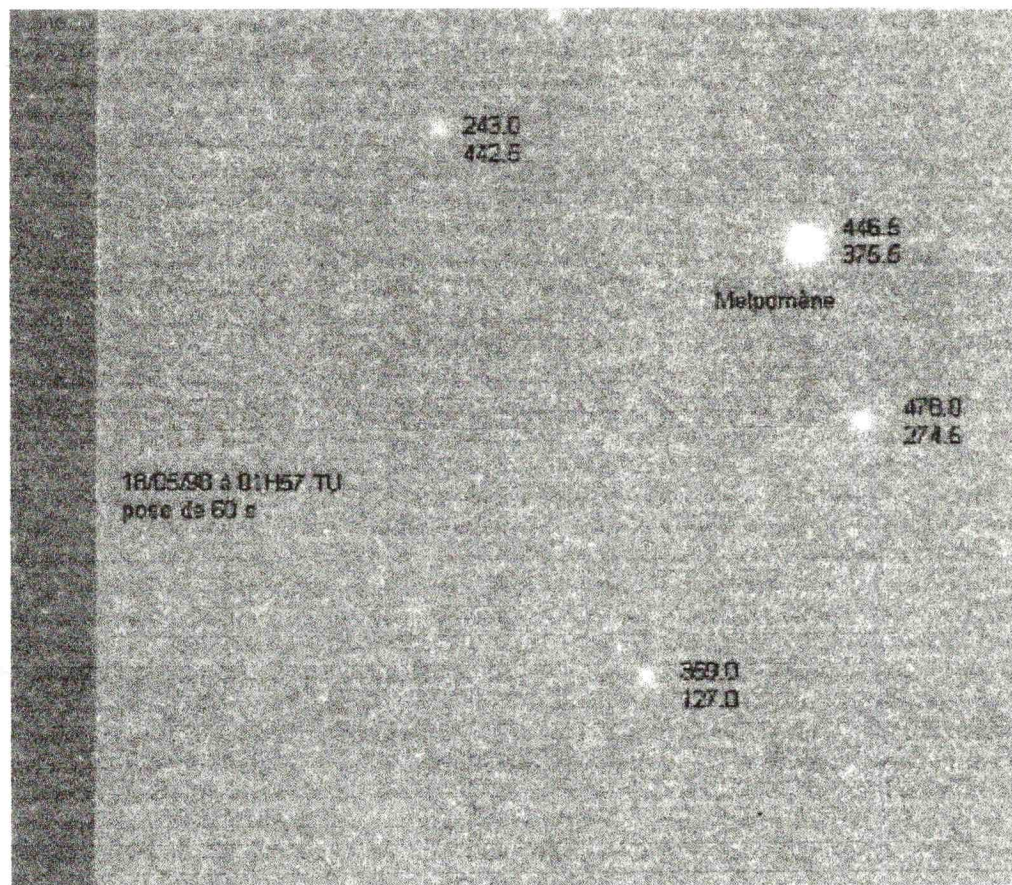
Traitement des images

Le prétraitement des images CCD nécessite de disposer d'une série "d'offset" et de quelques "flat-field".

Les "offset" sont acquis en laissant l'obturateur fermé ; ils enregistrent sur des durées courtes (0,1 s) le bruit du capteur. Par contre, le bruit thermique de l'électronique était négligeable à la température de - 118° celsius maintenue par le cryostat.

Les "flats" sont acquis sur un fond de ciel uniforme, en général en fin de nuit pour enregistrer les défauts de l'optique du télescope tels que le vignettage, les poussières déposées sur le miroir, et tenir compte des différences de sensibilité des photosites.

La correction radiométrique de l'image brute consiste essentiellement à soustraire la moyenne des offsets à l'image et au flat-field ; les deux nouveaux signaux obtenus sont "divisés" pour obtenir l'image soumise à la correction cosmétique par les traitements



numériques qui peuvent améliorer l'aspect visuel de l'image.

Le logiciel PRISM possède des fonctions qui permettent d'effectuer facilement le traitement des images.

Exploitation des images

Les images révèlent la présence de l'astéroïde Melpomène. La différence de contraste obtenue après prétraitement s'explique par des temps de pose de 30s et 60 s ; un temps de pose plus long a permis de préserver le meilleur contraste. Un relèvement des coordonnées des objets lumineux effectué sur deux images prises à 12 minutes d'intervalle montrent que l'astéroïde s'est déplacé d'environ 13 pixels sur le capteur 512X512.

On remarque que les abscisses des étoiles voisines sont inchangées et que les ordonnées ont subi une translation de 7 pixels d'une image à l'autre en raison d'une différence de cadrage. En tenant compte de ce glissement, on déter-

mine, pour Melpomène, une variation d'abscisse de 4,5 pixels et une variation d'ordonnée de 12 pixels, soit 5,5 secondes d'arc en 12 min ou 11 minutes d'arc en un jour.

Remarque : les éphémérides donnent un déplacement de 17 minutes d'arc par jour, ce qui permet de vérifier que le résultat est du même ordre de grandeur.

Conclusion rédigée par l'un des élèves.

Notre entente au sein du groupe était notre principal atout, outre le T80 et le matériel informatique mis à notre disposition, pour mener à bien notre mission. Il était nécessaire de répartir les tâches selon nos compétences et notre intérêt relatif aux différents stades de l'acquisition et du traitement des images. Nous devions aussi partager la nuit d'observation avec le groupe du lycée Maurice ELIOT, de sorte que les acquisitions d'images respectives se réalisent dans les meilleures conditions. Il fallait

tenir compte de la présence de la Lune et choisir la meilleure "fenêtre" possible sur le ciel. Notre groupe s'était organisé de telle sorte qu'un membre orientait le télescope, qu'un autre manoeuvrait la coupole pendant que le reste de l'équipe se chargeait des acquisitions.

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

Les animateurs A.N.S.T.J. nous ont guidé dans l'utilisation du matériel et supervisaient les opérations d'acquisitions ; les professeurs nous conseillaient sur les protocoles à suivre. ■



Serez-vous privé d'éclipse

si vous avez égaré vos filtres ?

Daniel Toussaint

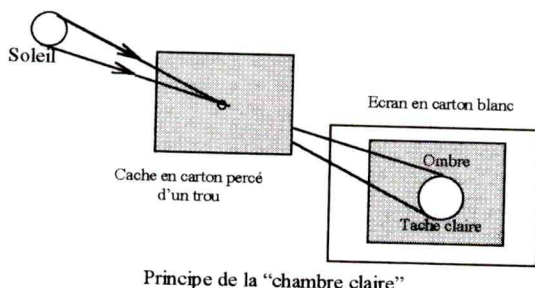
Même si les amateurs d'éclipses ignorent la terrible 26^e maxime de La Rochefoucauld :

"le Soleil ni la mort ne se peuvent regarder fixement", en général, ils connaissent les dangers de l'observation du Soleil et, depuis plusieurs mois, la chasse aux filtres efficaces est ouverte...

Cependant il est probable que bien des gens n'auront pas réussi à se procurer des filtres assez denses, ou simplement qu'ils les auront égarés. Comme l'éclipse ne les attendra pas, c'est le dernier moment pour diffuser auprès de vos élèves la bonne vieille technique du trou dans un carton.

Description de la technique la plus élémentaire d'observation du Soleil :

Affublée du nom savant de sténopé (la racine grecque "op" désigne le regard ou l'œil, et "sténos" qualifie ce regard de faible, déficient, par opposition à celui de Zeus qui voit au loin), cette méthode est décrite dans les traités d'optique élémentaire pour illustrer la propagation rectiligne de la lumière. Si le trou est percé à l'avant d'une boîte dont le fond est un écran dépoli, l'ensemble constitue une "chambre noire", mais le dispositif peut être réduit à sa plus simple expression en réalisant une "chambre claire" avec une feuille de bristol trouée et un écran.



Dans l'Astronomie Populaire, Camille Flammarion indiquait déjà que les taches claires visibles sous les arbres au feuillage peu dense sont rondes comme le Soleil et que pendant les éclipses partielles elles ont la même échancrure que lui.

Les arbres appropriés à cette étude étant encore plus rares que les filtres de bonne qualité, chacun peut se fabriquer une chambre claire en perçant un trou de 4 mm de diamètre environ au centre d'une feuille de bristol. Une deuxième feuille posée sur le sol, ou mieux inclinée perpendiculairement aux rayons du Soleil, servira d'écran. Pendant l'expérience, il suffira de déplacer la feuille de bristol tenue à la main pour qu'elle porte ombre sur l'écran (dessin ci-contre).

Si le trou est rond, la tache de lumière qui se forme sur l'écran au centre de l'ombre a l'air d'avoir la même forme que lui, ce qui ne surprend guère... Mais si on a l'idée saugrenue de percer un trou polygonal la tache, qui conserve la même forme que lui quand la feuille trouée et l'écran sont proches l'un de l'autre, s'arrondit dès que la feuille est tenue à plus d'un mètre de l'écran : autrement dit, la tache reproduit plus ou moins fidèlement la forme de la source lumineuse. La luminosité de la

tache claire est facile à doser : elle diminue si la distance feuille-écran augmente et n'est jamais éblouissante.

Interprétation de ce phénomène :

Si le trou est assez petit, tout en étant plus gros qu'un trou d'épingle afin de limiter les effets de la diffraction, les élèves de Collège comprennent facilement que les rayons lumineux provenant d'une source de lumière vive se croisent dans le trou et produisent une "image" renversée sur l'écran.



Un puriste refuserait probablement de qualifier d'image cette tache claire dont les différents points ne reçoivent pas de rayons convergents comme les images produites par une lentille. La différence de nature entre cette "pseudo-image" et celle produite par une lentille présente un énorme avantage : il n'est pas possible de s'éblouir avec la technique du sténopé car la lumière n'est pas concentrée, au contraire elle est dispersée et ce d'autant plus que la distance feuille-écran s'agrandit. En revanche, sa netteté ne serait pas suffisante pour observer les taches solaires.

Quand le trou est petit, il est impossible d'agrandir beaucoup l'image (nous continuerons de la nommer ainsi

pour simplifier) : elle s'éteint rapidement si la feuille s'éloigne de l'écran. Pour remédier à ce problème, il faut laisser passer davantage de lumière, c'est-à-dire augmenter les dimensions du trou. Dans ce cas, la technique est toujours applicable par des élèves de Collège, voire par ceux de l'Ecole Primaire, mais l'explication devient plus difficile et il ne faut pas la tenter en classe.

La recherche d'une explication peut fournir le sujet d'une activité graphique à pratiquer en club (voir dessin ci-dessous). Il s'agit d'imaginer les modifications subies par l'image (sur un écran proche ou éloigné) lorsque le petit trou circulaire est remplacé par deux trous côte à côte puis par trois trous disposés au sommet d'un triangle équilatéral.

Constatations :

- la lumière qui traverse chaque trou produit une image circulaire du Soleil ;
- quand l'écran est à moins de 20 cm de la feuille trouée, les trois images circulaires se recouvrent peu et elles forment une tache qui a l'air d'un triangle équilatéral aux sommets arrondis ;
- quand l'écran est à plus d'un mètre, les centres des cercles forment toujours le même petit triangle, mais chaque cercle a tellement grossi que l'ensemble a pris l'aspect d'un disque au contour flou.

Il est alors facile d'imaginer qu'un trou triangulaire donnera une image ressemblant à ce disque flou, mais qu'elle sera encore plus lumineuse.

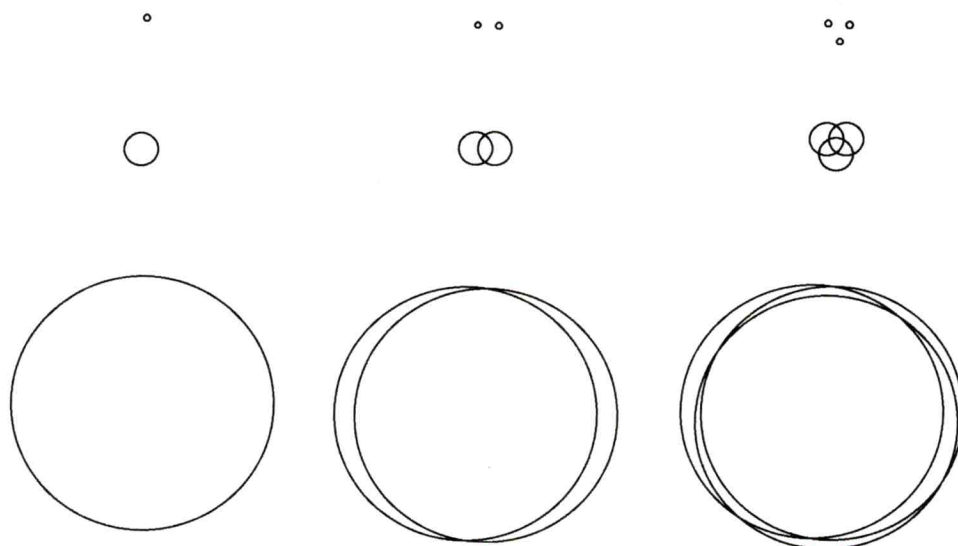
L'aspect de l'image pendant une éclipse partielle :

La fidélité de l'image dépend de l'écart maximum entre les centres des trous élémentaires. Le contour flou modifie la proportion entre les rayons des disques du Soleil et de la Lune car il peut agrandir la partie lumineuse au détriment de la partie sombre : la Lune paraîtra trop petite. Je crois que Kepler a signalé ce phénomène, mais je ne sais dans quel ouvrage...

Comment rendre conviviale l'observation de l'éclipse ?

Au lieu de tenir à la main la feuille trouée et de rester au Soleil pendant plusieurs heures, pourquoi ne pas faire une boutonnière dans la toile d'un parasol fixé au centre d'une table de jardin ? Une nappe en papier peut même servir de support pour y tracer l'image du Soleil tous les 1/4 d'heures. Le résultat n'aura pas la beauté d'une photo en chapelet de l'éclipse, mais il sera beaucoup plus facile à réaliser. Le plus difficile sera de prévoir les rafraichissements sans tacher la nappe !

Si vous n'avez pas perdu vos lunettes "spéciales éclipse", les deux méthodes sont complémentaires : vous enregistrez les différentes phases de l'éclipse sous le parasol troué et vous comparez de temps en temps le résultat avec l'observation directe (derrière vos lunettes).





L'éclipse du 11 août,

approche simplifiée de certaines valeurs

Philippe Malburet

Notre collègue Philippe Malburet, de Puyricard (Académie de Marseille), nous propose des exercices inspirés par l'éclipse du 11 août et expérimentés dans sa classe de Seconde.

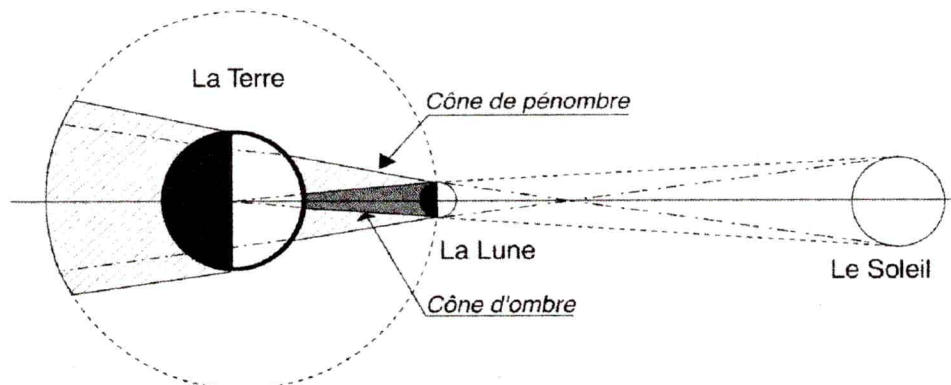
Son article complète celui de Daniel Toussaint (cf. CC 85) qu'il a lu avec beaucoup d'intérêt, après avoir préparé le sien. Il fait calculer en plus d'une valeur approchée la vitesse de l'ombre¹, la dimension de la tache d'ombre².

1 - Conditions générales de l'éclipse.

On rappelle qu'une éclipse totale de Soleil se produit lorsque les centres du Soleil, de la Lune et de la Terre sont alignés (dans cet ordre). A ce moment, la face visible de la Lune n'est pas éclairée par le Soleil : la Lune est en phase de Nouvelle Lune. Sur le schéma ci-dessous, pour plus de clarté, les dimensions relatives (rapport des distances et rapport des longueurs) n'ont pas été respectées.

1 - En interprétant le schéma précédent, indiquer quelles sont les tangentes produisant le cône d'ombre et quelles sont celles qui produisent le cône de pénombre.

2 - Quel est celui de ces deux cônes qui produit à la surface de la Terre l'éclipse totale ?



Au cours de l'éclipse, le sommet du cône d'ombre vient aborder la surface de la Terre en un point qui marque le début de l'éclipse. Du fait de la rotation de la Terre sur son axe, le cône d'ombre balaie une petite partie de la surface de notre globe, jusqu'à un autre point qui marquera la fin de l'éclipse.

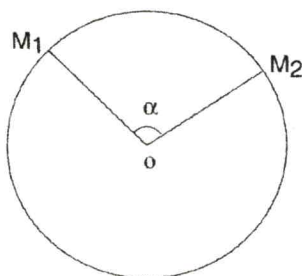
Données géographiques de l'éclipse du 11 août :

L'éclipse commence à 9 h 30 (au lieu de longitude $L = 65,08^\circ$ et de latitude $l = 41,03^\circ$) et se termine à 12 h 36 (au lieu de longitude $L = -80,43^\circ$ et de latitude $l = 19,62^\circ$). Le début de la totalité a lieu à 10 h 20 min 02 s à Fécamp ($L = -0,375^\circ$ et $l = 49,7583^\circ$) et à 10 h 31 min 44 s à Haguenau ($L = -7,78^\circ$ et $l = 48,814^\circ$)

2 - Calcul de certaines quantités

a) Calcul de la distance séparant les lieux de début et de fin de l'éclipse.

On admettra qu'une formule de trigonométrie sphérique permet de calculer l'angle au centre défini par deux lieux dont on connaît les coordonnées géographiques.



Soient les deux lieux M_1 et M_2 de coordonnées géographiques respectives ($L_1 ; l_1$) pour M_1 et ($L_2 ; l_2$) pour M_2

L'angle au centre α est obtenu par :

$$\cos \alpha = \sin l_1 \sin l_2 + \cos l_1 \cos l_2 \cos (L_1 - L_2)$$

3a - Calculer $\cos \alpha$, puis en déduire α .

3b - Sachant que la Terre a une circonférence de 40 000 km, en déduire la distance M_1M_2 dans le cas de l'éclipse du 11 août 1999. Ce calcul sera fait d'une part entre Fécamp et Haguenau, d'autre part entre les lieux de début et de fin de l'éclipse.

b) calcul de la vitesse moyenne du déplacement du cône d'ombre.

Dans cette suite de questions on se propose de donner deux évaluations de la vitesse moyenne du déplacement de l'ombre de la Lune à la surface de la Terre.

4a - Calculer la vitesse moyenne avec laquelle se déplace un point de l'équateur terrestre par rapport au Soleil que l'on suppose fixe).

4b - Calculer la vitesse moyenne de l'ombre entre Fécamp et Haguenau.

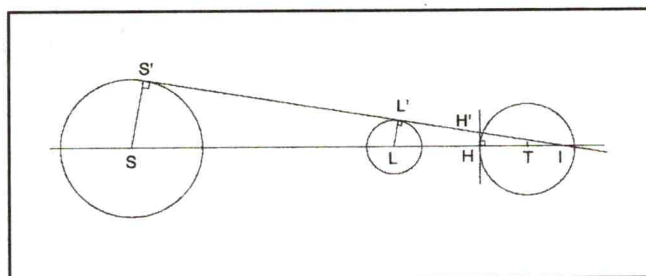
4c - Calculer la vitesse moyenne de l'ombre entre le début et la fin de l'éclipse.

4d - Que peut-on en déduire en ce qui concerne les vitesses relatives apparentes du Soleil et de la Lune ?

4e - Comment peut-on justifier que la vitesse calculée sur tout le parcours de l'ombre soit plus élevée que celle calculée entre Fécamp et Haguenau ?

c) Calcul d'une valeur approchée du diamètre de l'ombre.

Ce calcul se fera à partir du schéma ci-dessous :



S est le centre du Soleil, L est le centre de la Lune, T est le centre de la Terre, I est le sommet du cône d'ombre produit par la Lune, H est le centre de la tache d'ombre.

On a supposé en outre que l'on assimilait la surface de la Terre en lequel est faite l'observation à son plan tangent ((HH') est l'intersection de ce plan avec le plan de la figure).

Les données numériques pour faire cette évaluation du diamètre de l'ombre sont les suivantes :

rayon de la Lune : 1738 km, rayon de la Terre : 6378 km,

rayon du Soleil : 695 200 km,

distance du centre de la Terre à celui du Soleil (le 11 août 1999) : 151 641 377 km

distance du centre de la Terre à celui de la Lune (le 11 août 1999) : 373 455 km

On fera la convention que les distances HI et H'I sont quasiment les mêmes (ceci se justifie eu égard à la très faible valeur de l'angle sous lequel est vu le Soleil depuis la Terre).

5 - Pour calculer le diamètre de l'ombre on cherchera successivement :

a - la distance entre les centres de la Lune et du Soleil ,

b - la distance entre la Lune et le sommet du cône d'ombre,

c - la distance du centre de la Terre au sommet du cône d'ombre,

d - la distance de l'observateur au sommet du cône d'ombre,

e - on en déduira enfin le diamètre cherché de l'ombre de la Lune.

Notes de l'auteur

1- La raison pour laquelle je trouve une valeur plus proche des 2850 km / h que celle trouvée par Daniel Toussaint est que je donne une meilleure valeur de la distance entre Cherbourg et Strasbourg. La vieille formule du cosinus de trigonométrie sphérique donne une distance de meilleure qualité, me semble-t-il, que la distance donnée par un atlas.

2 - Le site Internet du Bureau des longitudes est une véritable mine de renseignements de qualité pour réaliser un tel travail (par exemple pour connaître les distances de la Terre au Soleil ou à la Lune à une date donnée, sans compter bien sûr les nombreux schémas).

DONNÉES ET CALCULS

Générale		Heure (TU)	Longitude (°)	latitude(°)	Longit. (rad)	latitude (rad)
	<i>début</i>	9,5	65,07833	41,02833	1,13583113	0,716079445
	<i>fin</i>	12,6	- 80,43333	19,62666	- 1,403826437	0,342549838
	<i>durée</i>	3,1				
	séparation angulaire (°)	111,4				
	distance (km)	12379,9				
	vitesse moyenne (km /h)	4019,4				
	vitesse moyenne (m/s)	1116,5				
Atlantique	<i>début</i>	9,5	65,07833	41,02833	1,13583113	0,716079445
	<i>fin</i>	10,4	-3,64833	49,50333	- 0,06367537	0,863996099
	<i>durée</i>	0,9				
	séparation angulaire (°)	47,4				
	distance (km)	5266,2				
	vitesse moyenne (km /h)	5747				
	vitesse moyenne (m/s)	1595,8				
France	<i>Fécamp</i>	10,33	- 0,375	49,758333	- 0,006544985	0,868446741
	<i>Haguenau</i>	10,53	- 7,88888	48,814444	- 0,135941741	0,85197277
	<i>durée</i>	0,2				
	séparation angulaire (°)	4,9				
	distance (km)	547,2				
	vitesse moyenne (km /h)	2806,3				
	vitesse moyenne (m/s)	779,5				
France	<i>Cherbourg</i>	10,28	1,623333	49,643055	0,028332506	0,86643476
	<i>Strasbourg</i>	10,53	- 7,751944	48,582777	- 0,135296946	0,847929418
	<i>durée</i>	0,24				
	séparation angulaire (°)	6,2				
	distance (km)	691,5				
	vitesse moyenne (km /h)	2828,8				
	vitesse moyenne (m/s)	785,8				
Roumanie	<i>Timisoara</i>	10,95	- 21,25	45,75	- 0,370882466	0,798488133
	<i>Calasari</i>	11,16	- 27,316666	44,2	- 0,476765762	0,771435529
	<i>durée</i>	0,21				
	séparation angulaire (°)	4,6				
	distance (km)	506,8				
	vitesse moyenne (km /h)	2440,6				
	vitesse moyenne (m/s)	678				
Inde	<i>début</i>	12,5	- 70,82	23,171666	- 1,236042176	0,404421865
	<i>fin</i>	12,6	- 80,433333	19,626666	-1,403826489	0,342549943
	<i>durée</i>	0,1				
	séparation angulaire (°)	9,6				
	distance (km)	1069,3				
	vitesse moyenne (km / h)	12831,8				
	vitesse moyenne (m/s)	3564,4				

	Vraie valeur (km)
distance Terre-Soleil (TS)	151 641376,90
distance Terre-Lune (TL)	373 455,17970
	Calculs (km)
distance Lune-Soleil (SL)	151 267 921,72450
distance Lune-Sommet du cône (LI)	379 117,59831
distance Terre-Sommet du cône (TI)	5662,40861
distance surface-Sommet du cône (HI)	12040,41861
diamètre de l'ombre (d)	110

Formules
SL = TS - TL
LI = (LL' . SL) / (SS' - LL')
TI = LI - TL
HI = TI + HT
d = 2 . LL' . (HI / LI)

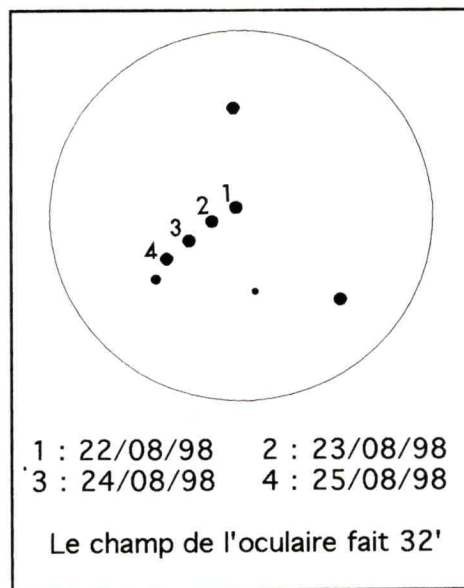


Calculer la distance d'Uranus

Pierre Causeret

Lors de la dernière université d'été du CLEA à Gap, j'ai observé plusieurs fois de suite dans le Capricorne une petite tache verdâtre qui changeait de place chaque nuit. C'était Uranus, pratiquement à l'opposition. J'ai noté sa position sur un bout de papier chiffonné en me servant de quelques étoiles repères. Une fois rentré chez moi, j'ai essayé de déterminer la distance d'Uranus avec ces quelques données et j'ai été surpris que ça marche si bien. Mais il y a quand même pas mal de calculs à faire...

Vous aussi, vous pouvez vous imaginer à la place d'Herschel et calculer la distance de la planète que vous venez de découvrir.



Solution au problème du n° 85

J'espère que vous aurez rectifié de vous-même la dernière ligne de l'aide. Si 1 mm représente 1', AC le diamètre du Soleil mesure 31,6 mm et non 32,5 ; ST mesure 32,5 / 2 soit 16,25 mm.

Rayon de la Lune : $SB = ST = SU = 16,25$; Rayon du Soleil : $RA = RC = RT = RU = 15,8$

$BC = 0,73 \times AC = 0,73 \times 1,6 = 23,068$;

$RS = RC - SC = RC - (BC - BS) = 15,8 - (23,068 - 16,25) = 8,982$.

1) Aire de la partie grisée

a) Aire A_1 du secteur de disque de centre S limité par l'arc TBU : il faut connaître l'angle TSU : je l'ai fait mesurer à mes élèves de 3^{ème} sur une figure à l'échelle mais on peut le calculer en se plaçant dans le triangle RTS dont on connaît les 3 côtés :

$$\cos(TSR) = (TS^2 + RS^2 - RT^2) / (2 \times TS \times RS) \approx 0,3258$$

d'où la mesure de TSR (71°) et de TSU (142°).

$$A_1 = \pi \times 16,25^2 \times 142 / 360 \approx 327$$

b) Aire A_2 du triangle STU

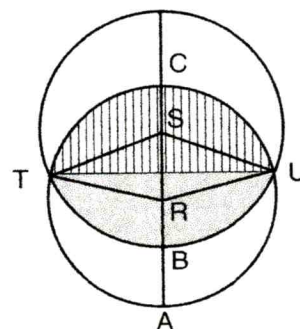
Base : $TU = 2 \times ST \times \sin 71$; Hauteur : $ST \times \cos 71$;

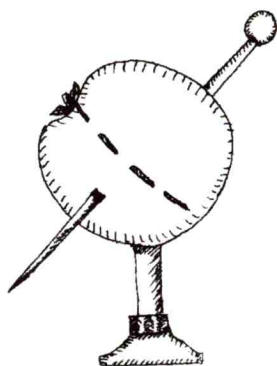
$$A_2 \approx 81$$

c) Aire A_3 de la partie grisée

$$A_3 = 327 - 81 = 246$$

(suite p. 27).





L'année du sextant

Pierre Lerich

Un an, c'est le temps qu'il faut pour maîtriser le sextant (un modèle bon marché en plastique) et connaître à fond l'horizon local, à condition toutefois qu'il soit à peu près rectiligne et qu'on puisse l'observer d'un peu haut, du balcon d'un immeuble par exemple.

Maîtriser le sextant, ce n'est pas seulement appliquer le mode d'emploi, ce qui est facile, c'est surtout savoir corriger deux erreurs inévitables dans les instruments "bas de gamme" en plastique : l'erreur de division et l'erreur de filtre.

L'angle mesuré sur le limbe gradué en degrés et ensuite sur le tambour gradué en minutes n'est jamais exactement l'angle vrai entre deux astres ou entre un astre et l'horizon. L'usinage expéditif de l'instrument bon marché entraîne une erreur systématique variable suivant l'angle mesuré. Il faut donc étalonner le sextant au moyen de mesures de distances angulaires entre étoiles. Ces mesures doivent être nombreuses pour compenser leur dispersion (normale) et les différences de réfraction entre des astres situés à des hauteurs différentes (on essaie cependant de viser des astres de hauteurs voisines). Il faudra par la suite corriger toutes les mesures conformément à la courbe d'erreur établie grâce aux étoiles.

Le second défaut vient du filtre indispensable pour observer le Soleil. Ses deux faces ne sont jamais parfaitement parallèles puisqu'il est fait de verre laminé. (Dans les sextants de bonne qualité, ces deux faces sont soigneusement rectifiées). Ce défaut

de parallélisme donne au filtre une forme légèrement prismatique qui déplace l'image du Soleil et fausse la mesure. Si le filtre est rond (c'est le cas du sextant "Plastimo" supérieur en cela au "Davis", l'autre sextant bon marché qui a des filtres carrés), on peut le faire tourner dans sa monture pour que l'image du Soleil soit déplacée latéralement, donc sans influence sur la mesure de la hauteur du Soleil. On parvient à ce résultat en procédant par tâtonnements et avec patience, à condition de ne pas s'embrouiller. Il est bon de prévoir un repère indélébile sur le bord du filtre et sur la monture et de noter soigneusement les essais successifs, en observant le déplacement du Soleil réfléchi par rapport au Soleil direct observé à travers l'autre filtre. Le déplacement latéral résiduel pourra être corrigé par le réglage du miroir d'horizon.

Le résultat est atteint quand, pour un même angle, la correction de l'erreur de division est la même pour la hauteur du Soleil (avec filtre) et pour une distance entre étoiles (sans filtre).

Reste le problème de l'horizon, peut-être le plus épineux. Il n'est pas question de s'arrêter quelque part dans la campagne pour "faire le point" comme le marin en mer.

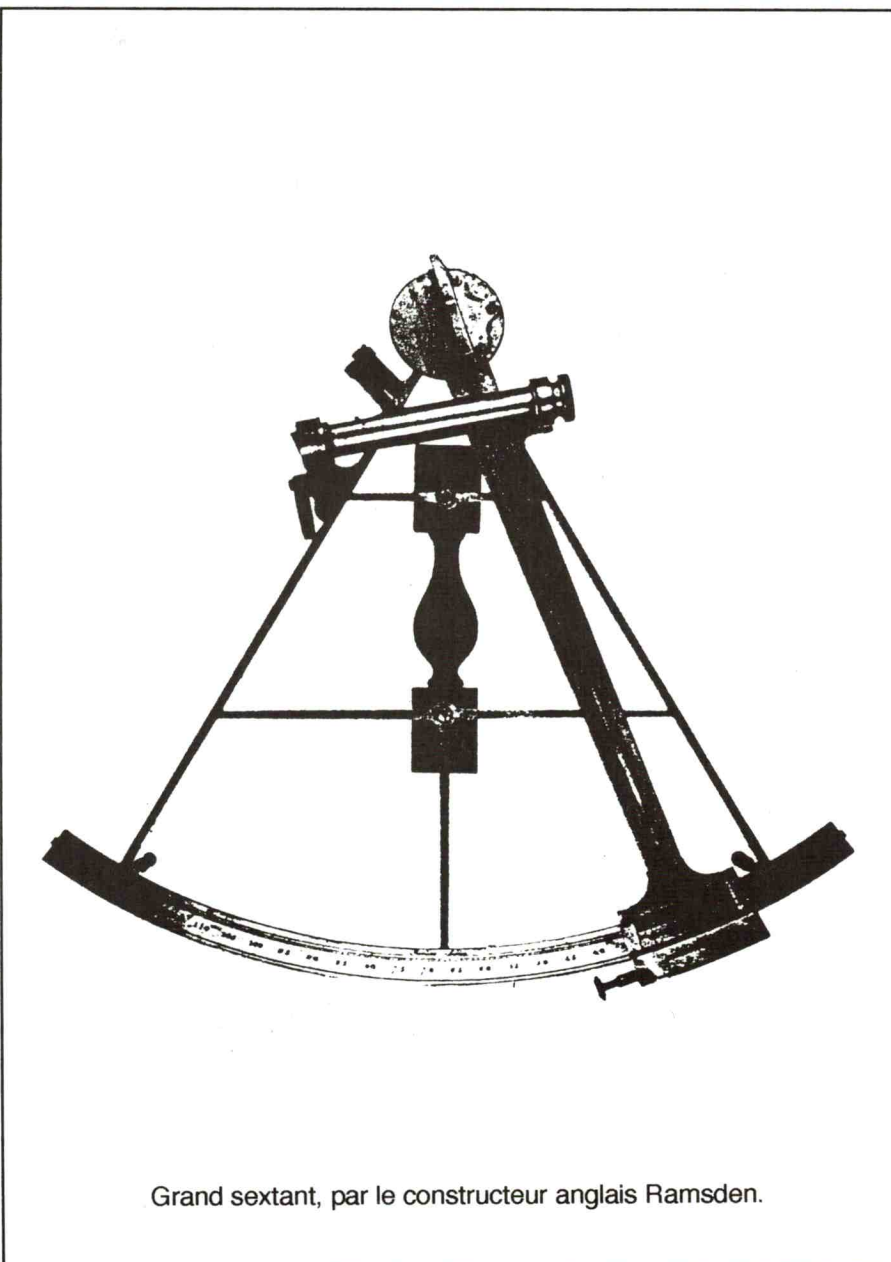
Ce qu'on peut faire, c'est, connaissant sa position sur la carte au 1 / 25000 comparer la hauteur observée du Soleil avec la hauteur calculée pour cette position (éphémérides et calcul à la main ou programme informatique). C'est une démarche recommandée par tous les ouvrages de navigation et d'ailleurs normale : s'entraîner à terre avant de pratiquer en mer.

Bien des horizons terrestres, constitués de collines et d'ondulations de toutes sortes, sans compter les immeubles et les arbres seront inutilisables, même observés d'un étage élevé. Même les horizons apparemment horizontaux ne seront utilisables que dans certains secteurs qu'on finira par bien connaître avec le temps et l'expérience. Ce qu'on trouve ce n'est donc pas la position (qu'on connaît) mais la différence entre la hauteur mesurée du Soleil, et celle qu'on aurait dû mesurer avec un sextant parfait, un horizon parfait, une technique parfaite. Cette erreur pourra s'exprimer en minutes d'angle correspondant à des milles marins, ou simplement en kilomètres.

C'est la combinaison de ces trois problèmes qui rend difficile l'usage du sextant à terre. Il faut du temps et de la patience. Avec un sextant de marque réputée (5000 F minimum à comparer avec les 1000 F du "Plastimo") et un horizon marin, il suffirait d'apprendre une méthode classique dans n'importe quel ouvrage sur le point astronomique. A terre et avec un sextant économique, tout devient compliqué, laborieux, incertain. Mais quand après tout ce travail on trouve plusieurs fois de suite une erreur de moins de 2 km, c'est une grande satisfaction.

Il arrive même qu'on trouve des erreurs de 500 m, voire de 100 m, mais il faut avouer que ce sont des coups de chance, ce qui n'empêche pas qu'on soit content quand même. Dans l'ensemble, au bout d'un an de pratique, compte-tenu des périodes sans soleil qui peuvent être longues, et aussi des périodes où on n'a pas le temps, on peut espérer, avec un bon horizon, 50 % de résultats à moins de 2 km de la vraie position.

Pour fixer un ordre de grandeur des erreurs auxquelles on pourrait s'attendre en l'absence de corrections ce serait par exemple 12 km pour l'erreur de divi-



Grand sextant, par le constructeur anglais Ramsden.

sion, 12 km pour le filtre, et 12 km pour l'horizon pas vraiment horizontal, soit 36 km dans le pire des cas, en supposant les trois erreurs dans le même sens, ce qui heureusement n'arrive pas toujours. On peut aussi toujours utiliser la Lune et les planètes, mais c'est encore plus délicat.

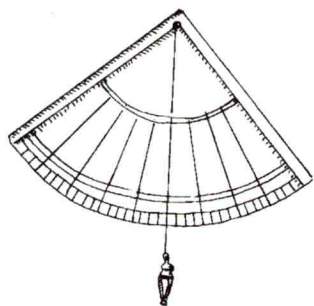
Dans tous les cas un ouvrage sur le point astronomique est indispensable. Plusieurs viennent d'être publiés. Une pendulette radiopilotée sera utile pour avoir l'heure exacte. Quant au sextant lui-même, on le trouvera chez un revendeur de matériel et d'équipements nautiques, dont on aura noté l'adresse

dans les pages publicités d'un magazine de voile.

Se donner tout ce mal à l'époque des satellites et du "Global position system" (GPS), cela peut paraître absurde. Il est certain, que pour savoir où on est, le GPS est supérieur. Mais si c'est juste pour s'amuser, rien ne vaut le sextant, surtout en plastique...

Bibliographie :

- Claude ASKEN "Le point astronomique" Ed. Chiron.
- Guy SERANE "Astronomie et ordinateur" Ed. Dunod. Un chapitre et trois programmes en basic pour faire le point. ■



HISTOIRE

Tanabata

Au pays du Soleil Levant

Francis Berthomieux

Voici une belle histoire qui vient du Japon du huitième siècle de notre ère pour rêver pendant les belles soirées d'été. Cet article est un clin d'oeil à Nestor Camino, qui m'a mis sur la piste des mythologies étrangères et dont la revue "El Rastro del Choique" (publication de la Patagonie argentine) a beaucoup de points communs avec les Cahiers.

Nous commencerons aujourd'hui notre voyage par un détour spatio-temporel vers le Japon du huitième siècle de notre ère, pour y fêter Tanabata-Tsumé, la Dame qui tissa la Voie Lactée, et son époux Hikoboshi...

On raconte en effet, qu'au septième jour du septième mois de l'ancien calendrier, on célébrait au Japon une grande fête. Chacun plantait autour de sa maison une incroyable quantité de baguettes de bambou, ornées de bandelettes de papier coloré : chacune portait un court poème rappelant l'un des épisodes de la belle histoire de ces amants du ciel...

Tanabata-Tsumé était la fille du grand dieu du Firmament. Elle était chargée de tisser pour son père les plus somptueux des vêtements et cette tâche l'enchantait. Pourtant, un jour, alors qu'assise devant son métier à tisser, elle laissait vagabonder son regard, elle aperçut un jeune homme menant son boeuf au champ. Elle en tomba aussitôt follement amoureuse. Son auguste père dut accepter bientôt que l'on célèbre le mariage...

Mais les deux jeunes tourtereaux étaient si passionnés l'un de l'autre qu'ils en vinrent tous deux à négliger leurs obligations ! Le doux bruit des navettes glissant sur le métier cessa de retentir, et le boeuf abandonné se mit à errer tristement dans les vallons du ciel.

Cela mit en colère le dieu tout puissant, qui pour punir les jeunes amants, les condamna à vivre loin l'un de l'autre, séparés par le grand Fleuve Céleste. Une unique permission de se rencontrer leur était donnée chaque année : la septième nuit du septième mois...

Cette nuit là, si le ciel était clair, les oiseaux unissaient leurs corps et leurs ailes pour former au-dessus du Fleuve un pont qui permettait aux amoureux de se rejoindre. Mais s'il pleuvait, la pluie faisait grossir et s'élargir les flots, et le pont ne pouvait être construit ! Il arrivait ainsi que plusieurs années passent sans que nos héros puissent se retrouver. Leur amour pourtant restait immortel. Ils accomplissaient désormais leurs besognes sans jamais faillir, vivant avec l'espoir de se retrouver de nouveau, la prochaine septième nuit du prochain septième mois...

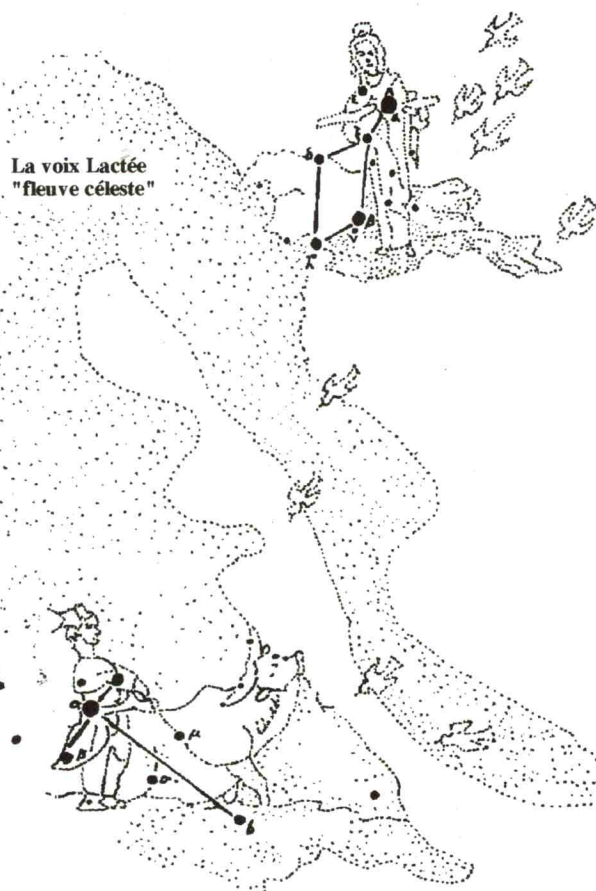
Depuis là-haut, Tanabata veille au bon déroulement des travaux féminins. Quant à Hikoboshi, il préside aux travaux champêtres. Si leurs étoiles resplendent, c'est que la prochaine récolte de riz sera bonne et que les tâches féminines seront fructueuses. C'est aussi le signe que tous deux sont heureux.

On prétend que l'on peut parfois être témoin de l'une de leurs rencontres, mais il faut avoir très bonne vue ! Et dans ces trop rares occasions, leurs étoiles brillent différemment.

On peut y distinguer cinq couleurs différentes : c'est sans doute pour cela que les offrandes des anciens Japonais comportaient ces bandelettes de papier coloré...

Pendant les douces soirées de l'été, allongez-vous confortablement, les yeux droit vers le zénith : nous ne manquerons pas de distinguer, coulant telle un fleuve gigantesque, la belle Voie Lactée au-dessus de nos têtes. Tanabata se trouverait, dit-on, dans ce que nous appelons la constellation de la Lyre. Quant au jeune bouvier, son bien-aimé, on pourrait le voir dans notre constellation de l'Aigle, de l'autre côté du grand Fleuve Céleste.

Observons les bien, mais soyons discrets ! Tard dans la nuit, ils disparaîtront derrière l'horizon, sans doute pour un tendre voyage vers le pays du Soleil Levant...



Solution du problème du n° 85 (suite)

2) Aire de la partie hachurée : On utilise le même principe.

a) Aire A_4 du secteur de disque de centre R limité par l'arc TCU

Dans le triangle TRS, on connaît les 3 côtés et un angle. On trouve $76,5^\circ$ pour TRS et 153° pour TRU.
 $A_4 = \pi \times 15,82^2 \times 153 / 360 \approx 333$

b) Aire A_5 du triangle RTU.

Base : TU = $2 \times RT \times \sin 76,5$; Hauteur : $RT \times \cos 76,5$ d'où $A_5 \approx 57$

c) Aire A_6 du segment circulaire hachuré

$A_6 = 333 - 57 = 276$

3) Pourcentage cherché

Aire totale occultée : $246 + 276 = 522$

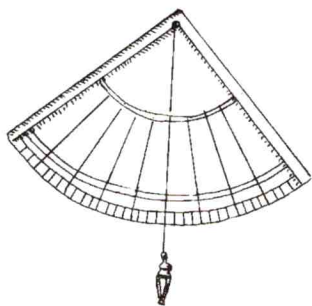
Aire du disque solaire : $\pi \times 15,82^2 \approx 784$

Pourcentage de surface éclipsée : $522 / 784$ soit 67 % ou environ les deux tiers.

On peut dire que le Soleil est éclipsé à 73% en diamètre mais à 67% seulement en surface.

Plus on est près de la zone de totalité, plus les deux valeurs sont proches. On peut s'amuser à calculer ce pourcentage pour différentes grandeurs d'éclipses :

Grandeur	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
% en surface	0 %	4 %	10 %	19 %	29 %	39 %	51 %	63 %	75 %	88 %	100 %



Pierre-Simon de Laplace (1749-1827)

Club Altaïr du lycée Grignard
de Cherbourg

René Cavaroz, président du club Altaïr nous a envoyé cette étude, réalisée à l'occasion du 250^e anniversaire de la naissance de Laplace, en hommage au grand astronome, physicien et mathématicien.

Ont participé à ce travail des élèves de 2^{de} 8 et de 1^{ère} S₁ du lycée, Mme Dubourdieu, professeur, M. Weyant, membre de l'Association Normande d'astronomie et le club d'Astronomie de Querqueville Hague (50).

I - Quelques repères

Des débuts fulgurants

Laplace est né à Beaumont-en-Auge, en Normandie, d'une riche famille d'agriculteurs, le 23 mars 1749. Il entre à l'Université de Caen avec l'idée de devenir prêtre, mais, à l'âge de 19 ans, il se rend à Paris, où, remarqué par d'Alembert, il est nommé professeur de mathématiques à l'École Militaire.

*"Ne tenez pour certain
que ce qui est démontré".*

Deux oeuvres magistrales

- **le Traité de Mécanique Céleste** est un monument à lui seul : 5 tomes dont la publication, commencée en 1799 ne s'achèvera qu'en 1828, l'année suivant la mort de Laplace. Fait exceptionnel à l'époque, l'ouvrage a été traduit en anglais par le géomètre américain Bowditch et publié aux Etats-Unis.

- **l'Exposition du Système du Monde**, éditée en 1796 et cinq fois rééditée jusqu'en 1835 est contrairement à son Traité de Mécanique Céleste, accessible au public le plus large : on dirait aujourd'hui un ouvrage de vulgarisation.

Voici l'introduction de Laplace à son "Exposition du Système du Monde" :

"De toutes les sciences naturelles, l'Astronomie est celle qui présente le plus long enchaînement de découvertes. Il y a extrêmement loin de la première vue du ciel, à la vue générale par laquelle on embrasse aujourd'hui les états passés et futurs du système du monde. Pour y parvenir, il a fallu observer les astres pendant un grand nombre de siècles ; reconnaître dans leurs apparences les mouvements réels de la Terre ; s'élever aux lois des mouvements planétaires, et de ces lois, au principe de la pesanteur universelle ; redescendre enfin de ce principe, à l'explication complète de tous les phénomènes célestes, jusque dans leurs moindres détails. Voilà ce que l'esprit humain a fait dans l'Astronomie. L'exposition de ces découvertes et de la manière la plus simple dont elles ont pu naître et se succéder, aura le double avantage d'offrir un grand ensemble de vérités importantes, et la vraie méthode qu'il faut suivre dans la recherche des lois de la nature. C'est l'objet que je me suis proposé dans cet ouvrage"

Un calculateur inspiré

Laplace a démontré que les grands axes des orbites des planètes ne changent pas, ni par conséquent, les périodes de révolution autour du Soleil, ce qui apportait un début de solution au problème de la stabilité du système solaire. Il a établi des formules donnant la position de toutes les planètes, rendant compte, par là-même, des inégalités de vitesse de Jupiter et de Saturne :

"c'était la solution définitive d'une difficulté immense qui faisait douter que la pesanteur universelle suffit à l'explication des phénomènes du firmament" dira Arago.

Les mouvements de la Lune, une mine féconde

Certaines perturbations des mouvements de la Lune dépendent de la distance Terre-Soleil ; Laplace en fait la théorie et calcule la distance tant prisée. Il montre que deux autres perturbations sont dues à l'aplatissement de la Terre et donne, pour la première fois, une valeur moyenne de l'aplatissement du globe terrestre : $1 / 306$; la valeur retenue de nos jours est $1 / 298,25$.

La masse de la Lune et les marées

Le Soleil et la Lune exercent leur attraction sur notre planète-océan. Laplace, à partir de vingt années d'observations des marées à Brest a déterminé la masse de la Lune. Par l'étude des oscillations de l'océan, il a estimé qu'il faudrait quelque 75 Lunes pour former la masse de la Terre (valeur admise : 82). Ce faisant, il a contribué à améliorer la théorie des marées et c'est, en partie, grâce à lui, qu'on sait prévoir leur retour et leur amplitude.

L'énigme de l'anneau de Saturne

Laplace considéra qu'il était improbable que l'anneau de Saturne fût fixe : il ne saurait ainsi résister par sa seule cohésion à la force d'attraction de la planète. Il calcula la vitesse de rotation nécessaire à sa conservation. La vitesse calculée était égale à celle qu'Herschel devait déduire plus tard de ses observations visuelles.

II - Pour le 250^e anniversaire de Pierre-Simon de Laplace : un texte célèbre

Pour commémorer l'événement, il nous a semblé intéressant d'évoquer, une fois encore, la célèbre hypothèse de l'astronome normand sur la formation du système solaire, en publiant le texte intégral de la fameuse **"Note VII et dernière"** qui clôt son Exposition du Système du Monde, parue en 1796. (voir Capella n° 33, p. 7-14).

L'hypothèse de Laplace n'est plus acceptée telle quelle aujourd'hui. Elle postulait l'existence d'une nébuleuse solaire primitive très chaude en rotation qui, par refroidissement et condensation, aurait donné successivement naissance à une série d'anneaux de matière fluide s'agglomérant progressivement en planètes et en satellites.

Les objections les plus sérieuses auxquelles se heurte l'hypothèse de Laplace sont principalement de trois sortes. L'une concerne le sens de rotation des planètes et des satellites qui était au point de départ de la théorie. Laplace affirmait que ces corps tournent tous dans le même sens à la fois sur leurs orbites et autour de leurs axes de rotation respectifs. On sait aujourd'hui que les rotations de Vénus et d'Uranus se font dans le sens rétrograde, et il en va de même de plusieurs satellites des planètes externes. En second lieu, la nébuleuse solaire primitive, que Laplace supposait très chaude, devait au contraire, selon la vision moderne, avoir été excessivement froide pour que les forces d'attraction pussent vaincre les forces dispersives de l'agitation moléculaire.

Mais l'objection la plus sévère réside dans le fait que le moment angulaire du système solaire devrait, dans l'hypothèse de Laplace, être concentré dans le Soleil, alors qu'en réalité il est presque entièrement dans les planètes. Rappelons que le moment angulaire d'un système en rotation (un ou plusieurs corps tournant autour du même centre) est le produit de la masse du ou des corps tournants, de leur distance au centre de révolution et de leur vitesse de translation. Ce produit est constant (loi de conservation du moment angulaire).

"Lorsqu'on fait tourner une fronde et que l'on raccourcit brusquement la ficelle, la pierre se met à tourner beaucoup plus vite. Le moment angulaire doit en effet se conserver. De même, si, suivant Laplace, le Soleil résulte de la contraction d'un nuage en rotation, il doit tourner très vite sur lui-même, beaucoup plus vite qu'il ne tourne réellement. La vitesse à l'équateur du Soleil devrait être de 472 km / s ; elle n'est en réalité que de 1,9 km / s, soit 250 fois plus faible ! La théorie de la nébuleuse primitive ne permet donc pas d'expliquer l'importante propriété fondamentale formulée plus haut : presque toute la masse du système solaire est concentrée dans le Soleil, mais celui-ci ne représente que 2 % du moment angulaire total. Autrement dit, c'est parce que le Soleil ne tourne pas en deux heures sur lui-même, mais en 27 jours, que les idées de Kant et de Laplace furent abandonnées."

(Henri Van Regemorter : Origine et évolution du système solaire, in Encyclopédie de la Pléiade, Astronomie, 1962, p. 1270-1271).

En dépit de ces objections, les théories plus récentes de l'origine du système solaire s'inspirent néanmoins, peu ou prou, de l'idée de la nébuleuse solaire de Laplace. Cette hypothèse aura, en tout cas, joué un rôle historique indéniable et méritait, ne fût-ce que pour cette raison, d'être rappelée.

Lors des cérémonies commémoratives du bicentenaire de Laplace, en 1949, André Danjon, directeur de l'Observatoire de Paris de 1945 à 1967, évoqua avec émotion le choc qu'il avait éprouvé lorsque, élève de la classe de Cinquième au Lycée Malherbe de Caen, il fut confronté pour la première fois au texte de la note VII de l'Exposition du système du monde :

"Ce jour-là, dit-il, nous ne prêtâmes guère attention aux difficultés grammaticales ou orthographiques du texte, tant nous étions saisis d'étonnement, d'admiration et même d'un peu d'effroi, devant ce langage si nouveau pour nous, si différent de la prose melliflue de Fénelon à laquelle nous étions accoutumés, et qui nous entraînait dans un pays de rêve."

En reproduisant intégralement le texte de Laplace, nous avons simplement modernisé l'orthographe de certains mots (mouvement au lieu de mouvemen, etc.), mis une majuscule à Soleil, Terre et Lune, et allégé la très lourde ponctuation de l'édition originale. Le terme "orbe" qui peut troubler le lecteur moderne doit être entendu au sens de "orbite". Afin de faciliter la lecture du texte, il nous a semblé utile, en guise d'introduction, de résumer très sommairement l'idée directrice de chaque paragraphe. Les numéros du résumé sont les mêmes que ceux que nous avons affectés à chaque alinéa de l'original.

Sommaire introductif au texte de Laplace

1 - Point de départ, un constat en cinq points :

- la révolution des planètes s'effectue dans le même sens et à peu près dans un même plan ;
- la révolution des satellites se fait dans le même sens que celle des planètes ;
- les rotations des planètes et des satellites ont lieu dans le même sens que leurs révolutions ;
- les orbites des planètes et des satellites ne présentent qu'une faible excentricité ;
- les comètes ont des orbites très allongées et situées dans des plans différents.

2 - Théorie de Buffon sur l'origine du système solaire : les planètes et les satellites sont des fragments du Soleil arrachés par l'impact d'une comète. [Laplace dit qu'il ne connaît que la théorie de Buffon sur l'origine du système solaire. Il n'avait manifestement pas connaissance de l'hypothèse du philosophe allemand Immanuel Kant, pourtant assez voisine de la sienne et formulée dès 1755.]

3 - Examen critique de la théorie de Buffon : elle ne rend compte que du premier phénomène énoncé dans le §1.

4 - L'excentricité très faible des orbites planétaires et satellitaires est incompatible avec la théorie de Buffon.

5 - Nécessité de postuler l'existence d'une nébuleuse solaire primitive de très grande dimension.

6 - Comparaison avec les nébuleuses observées au télescope : extrême dilution de la matière.

7 - Exemples de nébuleuses à noyaux de condensation multiples : les Pléiades et les étoiles doubles.

8 - Les planètes et les satellites ne sont pas des corps allochtones qui auraient pénétré dans la nébuleuse solaire.

9 - Conditions régnant dans une nébuleuse chaude en rotation :

a) équilibre, en tous points, entre la force centrifuge et la pesanteur ;

b) conservation du moment cinétique lors de la contraction par refroidissement ;

c) à la suite de la contraction et de l'accroissement de la force centrifuge due à l'augmentation de la rotation du Soleil, rupture de l'équilibre force centrifuge-pesanteur et abandon de matière à la périphérie. [Les théories modernes voient plutôt une nébuleuse très froide au départ, la chaleur étant progressivement engendrée au centre par suite de la compression gravitationnelle].

10.- Matière périphérique abandonnée sous forme d'anneaux de vapeurs.

11.- Noyaux de condensation au sein des anneaux, donnant naissance à des masses sphériques tournant sur elles-mêmes dans le même sens que l'ensemble autour du Soleil : protoplanètes ("planètes à l'état de vapeurs").

12.- Le phénomène qui a donné naissance aux anneaux, puis aux protoplanètes se reproduit à plus petite échelle au sein des protoplanètes pour former des embryons de satellites.

13.- La durée de rotation des corps centraux (Soleil par rapport aux planètes, planètes par rapport aux satellites) est plus faible que celle des corps qui en dépendent.

14.- Les petits écarts de la forme des orbites par rapport au cercle (excentricités), et de leur plan par rapport au plan équatorial du Soleil (inclinaisons des plans orbitaux) s'expliquent par des irrégularités inévitables dans la répartition des températures et des densités au sein des masses de vapeurs.

15 - Cas des comètes : elles sont étrangères au système solaire. [Cette idée, déjà émise par Descartes, de comètes vagabondant d'un système stellaire à un autre, est depuis longtemps totalement abandonnée. Les comètes, reléguées en très grand nombre aux confins externes du système solaire, sont bel et bien des membres à part entière de celui-ci].

16.- Faible probabilité de comètes à orbites hyperboliques.

17.- Les orbites cométaires ont pu être modifiées par l'attraction des planètes.

18 - Inversement, l'action attractive des comètes a pu modifier légèrement les caractéristiques orbitales des planètes.

19 - Poussières résiduelles (molécules très volatiles) à l'origine de la lumière zodiacale.

20 - Hypothèse de Laplace confirmée par les caractéristiques géométriques et physiques des planètes (aplatissement polaire expliqué par la nature primitivement fluide du corps en rotation). La géologie pourra sans doute étayer l'hypothèse de Laplace, quoique la grande variété de combinaisons des matériaux issus des vapeurs initiales et les modifications ultérieures qui se sont produites au sein et à la surface de la Terre en compliquent l'étude.

21 - L'hypothèse de Laplace basée sur le caractère primitivement fluide des satellites soumis à l'attraction gravitationnelle des planètes-mères explique aussi les singuliers phénomènes de résonance observés entre les durées de révolution et la période de rotation de ces satellites. Cas le plus simple : celui de la Lune.

22 - Résonance plus complexe entre les trois premiers satellites de Jupiter.

III - La " note VII et dernière " de l'Exposition du Système du Monde, de Pierre Simon de Laplace

1 - On a, par le chapitre précédent, pour remonter à la cause des mouvements primitifs du système planétaire, les cinq phénomènes suivants : les mouvements des planètes dans le même sens, et à peu près dans un même plan; les mouvements des satellites dans le même sens que ceux des planètes; les mouvements de rotation de ces différents corps et du Soleil dans le même sens que leurs mouvements de projection et dans des plans peu différents; le peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites; enfin, la grande excentricité des orbites des comètes, quoique leurs inclinaisons aient été abandonnées au hasard.

2 - Buffon est le seul que je connaisse, qui depuis la découverte du vrai système du monde, ait essayé de remonter à l'origine des planètes et des satellites. Il suppose qu'une comète, en tombant sur le Soleil, en a chassé un torrent de matière qui s'est réunie au loin en divers globes plus ou moins grands et plus ou moins éloignés de cet astre : ces globes, devenus par leur refroidissement opaques et solides, sont les planètes et leurs satellites.

3 - Cette hypothèse satisfait au premier des cinq phénomènes précédents; car il est clair que tous les corps ainsi formés doivent se mouvoir à peu près dans le plan qui passait par le centre du Soleil et par la direction du torrent de matière qui les a produits : les quatre autres phénomènes me paraissent inexplicables par son moyen. A la vérité, le mouvement absolu des molécules d'une planète doit être alors dirigé dans le sens du mouvement de son centre de gravité; mais il ne s'ensuit point que le mouvement de rotation de la planète soit dirigé dans le même sens : ainsi, la Terre pourrait tourner d'orient en occident, et cependant le mouvement absolu de chacune de ses molécules serait dirigé d'occident en orient ; ce qui doit s'appliquer au mouvement de révolution des satellites, dont la direction, dans l'hypothèse dont il s'agit n'est pas nécessairement la même que celle du mouvement de projection des planètes.

4 - Un phénomène, non seulement très difficile à expliquer dans cette hypothèse, mais qui lui est contraire, est le peu d'excentricité des orbites planétaires. On sait par la théorie des forces centrales, que si un corps mû dans un orbite rentrant autour du Soleil rase la surface de cet astre, il y reviendra constamment à chacune de ses révolutions; d'où il suit que si les planètes avaient été primitivement détachées du Soleil, elles le toucheraient à chaque retour vers cet astre, et leurs or-

bes loin d'être circulaires, seraient fort excentriques. Il est vrai qu'un torrent de matière, chassé du Soleil, ne peut pas être exactement comparé à un globe qui rase sa surface : l'impulsion que les parties de ce torrent reçoivent les unes des autres, et l'attraction réciproque qu'elles exercent entre elles, peuvent, en changeant la direction de leurs mouvements, éloigner leurs périhélie du Soleil. Mais leurs orbites devraient toujours être fort excentriques, ou du moins ils n'auraient pu avoir tous de petites excentricités que par le hasard le plus extraordinaire. Enfin on ne voit point, dans l'hypothèse de Buffon, pourquoi les orbites de plus de cent comètes déjà observées sont tous fort allongées : cette hypothèse est donc très éloignée de satisfaire aux phénomènes précédents. Voyons s'il est possible de s'élever à leur véritable cause.

5 - Quelle que soit sa nature, puisqu'elle a produit ou dirigé les mouvements des planètes, il faut qu'elle ait embrassé tous ces corps; et vu la distance prodigieuse qui les sépare, elle ne peut avoir été qu'un fluide d'une immense étendue. Pour leur avoir donné dans le même sens un mouvement presque circulaire autour du Soleil, il faut que ce fluide ait environné cet astre comme une atmosphère. La considération des mouvements planétaires nous conduit donc à penser qu'en vertu d'une chaleur excessive, l'atmosphère du Soleil s'est primitivement étendue au-delà des orbites de toutes les planètes, et qu'elle s'est resserrée successivement jusqu'à ses limites actuelles.

6 - Dans l'état primitif où nous supposons le Soleil, il ressemblait aux nébuleuses que le télescope nous montre composées d'un noyau plus ou moins brillant, entouré d'une nébulosité qui, en se condensant à la surfa-

ce du noyau, le transforme en étoile. Si l'on conçoit, par analogie, toutes les étoiles formées de cette manière, on peut imaginer leur état antérieur de nébulosité, précédé lui-même par d'autres états dans lesquels la matière nébuleuse était de plus en plus diffuse, le noyau étant de moins en moins lumineux. On arrive ainsi, en remontant aussi loin qu'il est possible, à une nébulosité tellement diffuse que l'on pourrait à peine en soupçonner l'existence.

7 - Depuis longtemps la disposition particulière de quelques étoiles visibles à la vue simple a frappé des observateurs philosophes. Mitchel a déjà remarqué combien il est peu probable que les étoiles des Pléiades, par exemple, aient été resserrées dans l'espace étroit qui les renferme, par les seules chances du hasard; et il en a conclu que ce groupe d'étoiles et les groupes semblables que le ciel nous présente sont les effets d'une cause primitive ou d'une loi générale de la nature.



Ces groupes sont un résultat nécessaire de la condensation des nébuleuses à plusieurs noyaux; car il est visible que la matière nébuleuse étant sans cesse attirée par ces noyaux divers, ils doivent former à la longue, un groupe d'étoiles, pareil à celui des Pléiades. La condensation des nébuleuses à deux noyaux formera semblablement des étoiles très rapprochées, tournant l'une autour de l'autre, telles que les étoiles doubles dont on a déjà reconnu les mouvements respectifs.

8 - Mais comment l'atmosphère solaire a-t-elle déterminé les mouvements de rotation et de révolution des planètes et des satellites ? Si ces corps avaient pénétré profondément dans cette atmosphère, sa résistance les aurait fait tomber sur le Soleil ; on peut donc conjecturer que les planètes ont été formées à ces limites successives par la condensation des zones de vapeurs, qu'elle a dû, en se refroidissant, abandonner dans le plan de son équateur.

9 - Rappelons les résultats que nous avons donnés dans le dixième chapitre du livre précédent. L'atmosphère du Soleil ne peut pas s'étendre indéfiniment : sa limite est le point où la force centrifuge due à son mouvement de rotation balance la pesanteur. Or à mesure que le refroidissement resserre l'atmosphère et condense à la surface de l'astre les molécules qui en sont voisines, le mouvement de rotation augmente. Car en vertu du principe des aires, la somme des aires décrites par le rayon vecteur de chaque molécule du Soleil et de son atmosphère, et projetées sur le plan de son équateur, étant toujours la même, la rotation doit être plus prompte quand ces molécules se rapprochent du centre du Soleil. La force centrifuge due à ce mouvement devenant ainsi plus grande, le point où la pesanteur lui est égale est plus près de ce centre. En supposant donc, ce qu'il est naturel d'admettre, que l'atmosphère s'est étendue à une époque quelconque jusqu'à sa limite, elle a dû, en se refroidissant, abandonner les molécules situées à cette limite et aux limites successives produites par l'accroissement de la rotation du Soleil. Ces molécules abandonnées ont continué de circuler autour de cet astre, puisque leur force centrifuge était balancée par leur pesanteur. Mais cette égalité n'ayant point lieu par rapport aux molécules atmosphériques placées sur les parallèles à l'équateur solaire, celles-ci se sont rapprochées par leur pesanteur de l'atmosphère, à mesure qu'elle se condensait, et elles n'ont cessé de lui appartenir qu'autant que par ce mouvement elles se sont rapprochées de cet équateur.

10 - Considérons maintenant les zones des vapeurs successivement abandonnées. Ces zones ont dû, selon toute vraisemblance, former par leur condensation et l'attraction mutuelle de leurs molécules, divers anneaux concentriques de vapeurs circulant autour du Soleil. Le frottement mutuel des molécules de chaque anneau a dû accélérer les unes et retarder les autres, jusqu'à ce qu'elles aient acquis un même mouvement angulaire. Ainsi les vitesses réelles des molécules plus éloignées du centre de l'astre ont été plus grandes. La cause suivante a dû contribuer encore à cette différence de vitesses. Les molécules les plus distantes du Soleil, et qui par les effets du refroidissement et de la condensation, s'en sont rapprochées pour former la partie supérieure de l'anneau, ont toujours décrit des aires proportionnelles aux temps, puisque la force centrale dont elles étaient animées a été constamment dirigée vers cet astre. Or cette constance des aires exige un

accroissement de vitesse, à mesure qu'elles s'en sont rapprochées. On voit que la même cause a dû diminuer la vitesse des molécules qui se sont élevées vers l'anneau pour former sa partie inférieure.

11 - Si toutes les molécules d'un anneau de vapeurs continuaient de se condenser sans se désunir, elles formeraient à la longue un anneau liquide ou solide. Mais la régularité que cette formation exige dans toutes les parties de l'anneau et dans leur refroidissement a dû rendre ce phénomène extrêmement rare. Aussi le système solaire n'en offre-t-il qu'un seul exemple, celui des anneaux de Saturne. Presque toujours chaque anneau de vapeurs a dû se rompre en plusieurs masses qui, mues avec des vitesses très peu différentes, ont continué de circuler à la même distance autour du Soleil. Ces masses ont dû prendre une forme sphéroïdique, avec un mouvement de rotation dirigé dans le sens de leur révolution, puisque leurs molécules inférieures avaient moins de vitesse réelle que les supérieures ; elles ont donc formé autant de planètes à l'état de vapeurs. Mais si l'une d'elles a été assez puissante pour réunir successivement, par son attraction, toutes les autres autour de son centre, l'anneau de vapeurs aura été ainsi transformé dans une seule masse sphéroïdique de vapeurs, circulant autour du Soleil avec une rotation dirigée dans le sens de sa révolution. Ce dernier cas a été le plus commun. Cependant le système solaire nous offre le premier cas dans les quatre petites planètes qui se meuvent entre Jupiter et Mars, à moins qu'on ne suppose, avec M. Olbers, qu'elles formaient primitivement une seule planète qu'une forte explosion a divisée en plusieurs parties animées de vitesses différentes.

11 - Maintenant, si nous suivons les changements qu'un refroidissement ultérieur a dû produire dans les planètes en vapeurs dont nous venons de concevoir la formation, nous verrons naître au centre de chacune d'elles un noyau s'accroissant sans cesse par la condensation de l'atmosphère qui l'entourne. Dans cet état, la planète ressemblait parfaitement au Soleil à l'état de nébuleuse, où nous venons de le considérer. Le refroidissement a donc dû produire, aux diverses limites de son atmosphère, des phénomènes semblables à ceux que nous avons décrits, c'est-à-dire des anneaux et des satellites circulant autour de son centre, dans le sens de son mouvement de rotation, et tournant dans le même sens sur eux-mêmes. La distribution régulière de la masse des anneaux de Saturne, autour de son centre et dans le plan de son équateur, résulte naturellement de cette hypothèse et, sans elle, devient inexplicable : ces anneaux me paraissent être des preuves toujours subsistantes de l'extension primitive de l'atmosphère de Saturne et de ses retraites successives. Ainsi les phénomènes singuliers du peu d'excentricité des orbites des planètes et des satellites, du peu d'inclinaison de ces orbites à l'équateur solaire, et de l'identité du sens des mouvements de rotation et de révolution de tous ces corps avec celui de la rotation du Soleil, découlent de l'hypothèse que nous proposons et lui donnent une grande vraisemblance qui peut encore être augmentée par la considération suivante :

13 - Tous les corps qui circulent autour d'une planète ayant été, suivant cette hypothèse, formés par les zones que son atmosphère a successivement abandonnées, et son mouvement de rotation étant devenu de plus en plus rapide, la durée de ce mouvement doit être moindre que celles de la révo-

lution de ces différents corps, ce qui a lieu semblablement pour le Soleil comparé aux planètes¹. Tout cela est confirmé par les observations. La durée de la révolution de l'anneau le plus voisin de Saturne est, suivant les observations d'Herschel, 0,438 j, et celle de la rotation de Saturne n'est que 0,427 j. La différence, 0,011 j, est peu considérable, comme cela doit être, parce que la partie de l'atmosphère de Saturne, que la diminution de la chaleur a déposée à la surface de cette planète, depuis la formation de l'anneau ayant été peu considérable, et venant d'une petite hauteur, elle a dû peu augmenter la rotation de la planète.

14 - Si le système solaire s'était formé avec une parfaite régularité, les orbites des corps qui le composent seraient des cercles dont les plans ainsi que ceux des divers équateurs et des anneaux coïncideraient avec le plan de l'équateur solaire. Mais on conçoit que les variétés sans nombre qui ont dû exister dans la température et la densité des diverses parties de ces grandes masses ont produit les excentricités de leurs orbites et les déviations de leurs mouvements, du plan de cet équateur.

15 - Dans notre hypothèse, les comètes sont étrangères au système planétaire. En les considérant, ainsi que nous l'avons fait, comme de petites nébuleuses errant de systèmes en systèmes solaires, et formées par la condensation de la matière nébuleuse répandue avec tant de profusion dans l'univers, on voit que lorsqu'elles parviennent dans la partie de l'espace où l'attraction du Soleil est prédominante, il les force à décrire des orbites elliptiques ou hyperboliques. Mais leurs vitesses étant également possibles suivant toutes les directions, elles doivent se mouvoir indifféremment dans tous les sens et sous toutes les inclinaisons à l'écliptique, ce qui est conforme à ce que l'on observe. Ainsi la condensation de la matière nébuleuse, par laquelle nous venons d'expliquer les mouvements de rotation et de révolution des planètes et des satellites dans le même sens et sur des plans peu différents, explique également pourquoi les mouvements des comètes s'écartent de cette loi générale.

16 - La grande excentricité des orbites cométaires est encore un résultat de notre hypothèse. Si ces orbites sont elliptiques, ils sont très allongés, puisque leurs grands axes sont au moins égaux au rayon de la sphère d'activité du Soleil. Mais ces orbites peuvent être hyperboliques, et si les axes de ces hyperboles ne sont pas très grands par rapport à la moyenne distance du Soleil à la Terre, le mouvement des comètes qui les décrivent, paraîtra sensiblement hyperbolique. Cependant, sur cent comètes au moins dont on a déjà les éléments, aucune n'a paru se mouvoir dans une hyperbole. Il faut donc que les chances qui donnent une hyperbole sensible soient extrêmement rares par rapport aux chances contraires. Les comètes sont si petites qu'elles ne deviennent visibles que lorsque leur distance périhélie est peu considérable. Jusqu'à présent, cette distance n'a surpassé que deux fois le diamètre de l'orbite Terrestre, et le plus souvent elle a été au-dessous du rayon de cet orbite. On conçoit que pour approcher si près du Soleil, leur vitesse au moment de leur entrée dans sa sphère d'activité doit avoir une grandeur et une direction comprises dans d'étroites limites. En déterminant par l'analyse des probabilités, le rapport des chances qui dans ces limites, donnent une hyperbole sensible, aux chances qui donnent un orbite que l'on puisse

confondre avec une parabole, j'ai trouvé qu'il y a six mille au moins à parier contre l'unité qu'une nébuleuse qui pénètre dans la sphère d'activité du Soleil, de manière à pouvoir être observée, décrira ou une ellipse très allongée, ou une hyperbole qui, par la grandeur de son axe, se confondra sensiblement avec une parabole, dans la partie que l'on observe : il n'est donc pas surprenant que, jusqu'ici, l'on n'ait point reconnu de mouvements hyperboliques.

17 - L'attraction des planètes et peut-être encore la résistance des milieux éthérés a dû changer plusieurs orbites cométaires dans des ellipses dont le grand axe est beaucoup moindre que le rayon de la sphère d'activité du Soleil. Ce changement peut encore résulter de la rencontre de ces astres, car il suit de notre hypothèse sur leur formation qu'il doit y en avoir un nombre prodigieux dans le système solaire, ceux qui s'approchent assez près du Soleil pouvant seuls être observés. On peut croire qu'un pareil changement a eu lieu pour l'orbite de la comète de 1759, dont le grand axe ne surpasse que trente-cinq fois, la distance du Soleil à la Terre. Un changement plus grand encore est arrivé aux orbites des comètes de 1770 et de 1805.

18 - Si quelques comètes ont pénétré dans les atmosphères du Soleil et des planètes au temps de leur formation, elles ont dû, en décrivant des spirales, tomber sur ces corps, et par leur chute, écarter les plans des orbites et des équateurs des planètes, du plan de l'équateur solaire.

19 - Si dans les zones abandonnées par l'atmosphère du Soleil il s'est trouvé des molécules trop volatiles pour s'unir entre elles ou aux planètes, elles doivent, en continuant de circuler autour de cet astre, offrir toutes les apparences de la lumière zodiacale, sans opposer de résistance sensible aux divers corps du système planétaire, soit à cause de leur extrême rareté, soit parce que leur mouvement est à fort peu près le même que celui des planètes qu'elles rencontrent.

20 - L'examen approfondi de toutes les circonstances de ce système accroît encore la probabilité de notre hypothèse. La fluidité primitive des planètes est clairement indiquée par l'aplatissement de leur figure, conforme aux lois de l'attraction mutuelle de leurs molécules. Elle est de plus prouvée pour la Terre par la diminution [sic] régulière de la pesanteur en allant de l'équateur aux pôles. Cet état de fluidité primitive auquel on est conduit par des phénomènes astronomiques, doit se manifester dans ceux que l'histoire naturelle nous présente. Mais pour l'y retrouver, il est nécessaire de prendre en considération l'immense variété des combinaisons formées par toutes les substances Terrestres mêlées dans l'état de vapeurs, lorsque l'abaissement de la température a permis à leurs éléments de s'unir. Il faut ensuite considérer les prodigieux changements que cet abaissement a dû successivement amener dans l'intérieur et à la surface de la Terre dans toutes ses productions, dans la constitution et la pression de l'atmosphère, dans l'Océan et dans les corps qu'il a tenus en dissolution. Enfin, il faut avoir égard aux changements brusques, tels que de grandes éruptions volcaniques, qui ont dû troubler à diverses époques la régularité de ces changements. La Géologie, suivie sous ce point de vue qui la rattache à l'Astronomie, pourra sur beaucoup d'objets, en acquérir la précision et la certitude.

21 - Un des phénomènes les plus singuliers du système

solaire est l'égalité rigoureuse que l'on observe entre les mouvements angulaires de rotation et de révolution de chaque satellite. Il y a l'infini contre un à parier qu'il n'est point l'effet du hasard. La théorie de la pesanteur universelle fait disparaître l'infini de cette invraisemblance, en nous montrant qu'il suffit, pour l'existence du phénomène, qu'à l'origine ces mouvements aient été très peu différents. Alors l'attraction de la planète a établi entre eux une parfaite égalité. Mais en même temps elle a donné naissance à une oscillation périodique dans l'axe du satellite, dirigé vers la planète, oscillation dont l'étendue dépend de la différence primitive des deux mouvements. Les observations de Mayer sur la libration de la Lune, et celles que MM. Bouvard et Nicollet viennent de faire sur le même objet, à ma prière, n'ayant point fait reconnaître cette oscillation, la différence dont elle dépend doit être très petite, ce qui indique avec une extrême vraisemblance une cause spéciale qui d'abord a renfermé cette différence dans les limites fort resserrées où l'attraction de la planète a pu établir entre les mouvements moyens de rotation et de révolution, une égalité rigoureuse, et qui ensuite a fini par détruire l'oscillation que cette égalité a fait naître. L'un et l'autre de ces effets résultent de notre hypothèse, car on conçoit que la Lune à l'état de vapeurs formait par l'attraction puissante de la Terre, un sphéroïde allongé dont le grand axe devait être dirigé sans cesse vers cette planète, par la facilité avec laquelle les vapeurs cèdent aux plus petites forces qui les animent. L'attraction Terrestre continuant d'agir de la même manière, tant que la Lune a été dans un état fluide, a dû à la longue, en rapprochant sans cesse les deux mouvements de ce satellite, faire tomber leur différence dans les limites où commence à s'établir leur égalité rigoureuse. Ensuite cette attraction a dû anéantir peu à peu l'oscillation que cette égalité a produite dans le grand axe du sphéroïde, dirigé vers la Terre. C'est ainsi que les fluides qui recouvrent cette planète ont détruit, par leur frottement et par leur résistance, les oscillations primitives de son axe de rotation, qui maintenant n'est plus assujéti qu'à la nutation résultant des actions du Soleil et de la Lune. Il est facile de se convaincre que l'égalité des mouvements de rotation et de révolution des satellites a dû mettre obstacle à la formation d'anneaux et de satellites secondaires par les atmosphères de ces corps. Aussi l'observation n'a-t-elle jusqu'à présent rien indiqué de semblable.

22. Les mouvements des trois premiers satellites de Jupiter présentent un phénomène plus extraordinaire encore que le précédent, et qui consiste en ce que la longitude moyenne du premier, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième, est constamment égale à deux angles droits. Il y a l'infini contre un à parier que cette égalité n'est point due au hasard. Mais on a vu que, pour la produire, il a suffi qu'à l'origine les moyens mouvements de ces trois corps

aient fort approché de satisfaire au rapport qui rend nul le moyen mouvement du premier, moins trois fois celui du second, plus deux fois celui du troisième. Alors leur attraction mutuelle a établi rigoureusement ce rapport et, de plus, elle a rendu constamment égale à la demi-circonférence la longitude moyenne du premier satellite, moins trois fois celle du second, plus deux fois celle du troisième. En même temps elle a donné naissance à une inégalité périodique qui dépend de la petite quantité dont les moyens mouvements s'écartaient primitivement du rapport que nous venons d'énoncer. Quelques soins que Delambre ait mis à reconnaître cette inégalité par les observations, il n'a pu y parvenir, ce qui prouve son extrême petitesse, et ce qui, par conséquent, indique avec une très grande vraisemblance une cause qui l'a fait disparaître. Dans notre hypothèse, les satellites de Jupiter, immédiatement après leur formation, ne se sont point mus dans un vide parfait : les molécules les moins condensables des atmosphères primitives du Soleil et de la planète formaient alors un milieu rare dont la résistance différente pour chacun de ces astres a pu approcher peu à peu leurs moyens mouvements, du rapport dont il s'agit. Et lorsque ces mouvements ont ainsi atteint les conditions requises pour que l'attraction mutuelle des trois satellites établisse ce rapport en rigueur, la même résistance a diminué sans cesse l'inégalité que ce rapport a

fait naître, et enfin l'a rendue insensible. On ne peut mieux comparer ces effets qu'au mouvement d'un pendule animé d'une grande vitesse dans un milieu très peu résistant. Il décrira d'abord un grand nombre de circonférences. Mais, à la longue, son mouvement de circulation toujours décroissant se changera dans un mou-

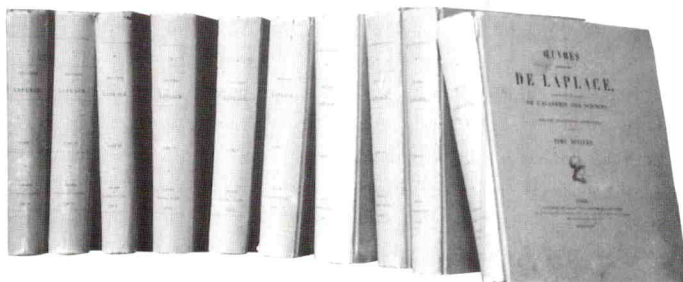
vement d'oscillation qui, diminuant lui-même de plus en plus, par la résistance du milieu, finira par s'anéantir : alors le pendule arrivé à l'état du repos, y restera sans cesse.

Notes :

1 - Kepler, dans son ouvrage "de motibus stellae Martis" a expliqué le mouvement de toutes les planètes dans un même sens, au moyen d'espèces immatérielles émanées de la surface du Soleil, et qui conservant le mouvement de rotation qu'elles avaient à la surface, impriment ce mouvement aux planètes. Il en a conclu que le Soleil tourne sur lui-même dans un temps moindre que celui de la révolution de Mercure, ce que Galilée reconnut bientôt après par l'observation.

L'hypothèse de Kepler est sans doute inadmissible, mais il est remarquable qu'il ait fait dépendre l'identité de la direction des mouvements planétaires de cette rotation du Soleil ; tant cette tendance paraît naturelle.

2 - Le tableau (p.31) est une toile de Krug (1853) exposée au musée Laplace à Beaumont en Auge





New trends in astronomy teaching
Le ciel, mythes et histoire des constellations
Le Pic du Midi d'un siècle à l'autre
L'image du monde des Babyloniens à Newton
Topex-Poséidon, mesureur des océans

**New trends
in astronomy teaching**

(Nouvelles tendances dans l'enseignement de l'astronomie)

Sous la direction de L. Gouguenheim, D.Mc. Nally, J.R. Percy.

Colloque n°162 de l'UAI, Londres, 8-12 juillet 1996 ; 352 p. ;

Cambridge University Press 1998.

Les lecteurs des Cahiers Clairaut se souviennent sûrement du colloque de Londres auquel plusieurs membres du CLEA ont participé. La table des matières du compte-rendu contient la préface, les notes de bienvenue de la présidente du Comité Scientifique Lucienne Gouguenheim, la liste des participants avec leur adresse électronique, le résumé des posters du Colloque et le discours final de Martin J. Rees.

Les sujets traités
se découpent en 6 chapitres :

- 1 - l'éducation universitaire,
- 2 - l'enseignement à distance, les multimédia,
- 3 - les processus d'apprentissage des étudiants,
- 4 - l'éducation au moyen des planétariums
- 5 - l'éducation astronomique du grand public,
- 6 - l'enseignement d'astronomie dans les écoles.

Durant ces quelques jours à Londres, 130 personnes étaient présentes, représentant 40 pays (Argentine, Paraguay, Brésil, Afrique du Sud, Australie, Canada, États-Unis, Mexique, Japon, Malaisie, Corée du Sud, pays du Proche-Orient et pays européens). Parmi les participants il y avait des professeurs d'université, des professeurs des écoles, des responsables de planétariums, de centres scientifiques. Certains parlèrent surtout des aspects techniques et

des médias et d'autres racontèrent leurs expériences (organisation de grands événements avec participation du public).

Du chapitre sur les universités, je voudrais citer ici les paroles de Mme Lesley Onuora, d'origine anglaise, qui est retournée en Angleterre après 18 ans d'enseignement à l'université de Nsukka au Nigeria. Elle dit : " je travaille maintenant, à l'Open University (Université à distance) au Royaume-Uni. C'est un grand contraste avec ma position au Nigeria. Nous utilisons ici les derniers résultats des recherches et théories alors qu'à Nsukka nos livres n'ont pas changé depuis 20 ans ! Et je sais que le groupe astronomique de Nsukka n'est pas unique. Il y a dans le monde entier des groupes isolés d'astronomes (et même des astronomes seuls) qui travaillent dur pour développer chez leurs étudiants le goût de l'astronomie. Mais les gouvernements pensent que l'astronomie est un luxe que leurs pays ne peuvent s'autoriser et les astronomes ne reçoivent pas de subvention". Et si les universités ne reçoivent pas de subvention, elles ne pourront pas se relier à Internet et au courrier électronique.

Dans le second chapitre, Barrie W. Jones nous parle justement de l'organisation de l'Open University et montre aussi des exercices pratiques que les étudiants doivent faire eux-mêmes, chez eux. Une image nous montre un étudiant plein de zèle, qui regarde l'heure où une étoile choisie va passer derrière un obstacle, une cheminée voisine. Cette observation doit être répétée pendant plusieurs jours, dans les mêmes conditions, et l'étudiant doit l'utiliser, pour montrer la différence entre jour solaire et jour stellaire. Ceci est réellement très simple.

Michèle Gerbaldi et Annie Xeri racontent leur expérience française avec l'enseignement à distance en collaboration avec le

CNED. Et je crois que je dois mentionner l'autre CLEA, qui existe aux Etats-Unis. Ce sont les "Contemporary Laboratory Exercises in Astronomy" préparés par Gettysburg College pour aider les étudiants à savoir comment on fait de l'astronomie. Par exemple, on voit sur l'écran plusieurs spectres d'étoiles que l'on doit comparer et en simulant le travail avec le télescope on parvient à obtenir un spectre stellaire.

Le troisième chapitre nous donne plusieurs exemples des bonnes et mauvaises conceptions des enfants, ce que l'on appelle "Misconceptions". Dans beaucoup de centres universitaires on étudie spécialement les diverses conceptions suivant l'âge, la classe, les connaissances des enfants et des adultes. Notre amie italienne Nicoletta Lanciano y raconte ses expériences avec de jeunes enfants. Ces travaux peuvent être comparés par exemple avec ceux de John H. Baxter de l'Université anglaise d'Exeter.

Le chapitre sur les planétariums nous apporte des connaissances sur plusieurs institutions de ce genre dans le monde. Chacune de nous pense qu'il sait tout ce qu'il peut faire dans un planétarium et puis trouve de nouvelles possibilités! Je dois dire que, personnellement, quand j'ai visité des planétariums ou centres scientifiques dans différents pays, j'ai toujours éprouvé une grande joie à découvrir des approches et des méthodes nouvelles et l'enthousiasme des intervenants. Et je ne peux résister ici à la tentation de citer mon propre article sur le planétarium de Torun, dans lequel je propose à toutes les personnes travaillant dans les planétariums dédiés à un personnage illustre d'en parler un peu aux visiteurs, afin de faire connaître un peu d'histoire des sciences.

En ce qui concerne le chapitre suivant, je voudrais parler d'abord de l'exposé de Julietta Fierro sur les centres scientifiques. Les lecteurs des CC se rappellent l'émouvant article de Julietta "L'astronomie dans la rue" (CC 79) L'auteur est maintenant présidente de la commission 6 de l'UAI : "Enseignement de l'astronomie". Elle écrit : "La raison de la promotion de la popularisa-

tion de la science est de donner au public une chance de **sentir le plaisir de comprendre**". Oui, Julietta a beaucoup travaillé à la compréhension de l'astronomie et de la science, chez elle, au Mexique, et maintenant, en sa qualité de présidente, elle visite divers pays. Elle nous parle de grands centres et de petits "centres itinérants".

Mais je me souviens encore, après plus de deux ans et demi, des applaudissements de la salle à la suite des récits des collègues du Brésil, Mr et Mme Bretones de la région Campinas, et Hélène Trévisan, de l'état Parana. Au Parana, on a fait connaître au public l'éclipse totale de Soleil de novembre 1994 : on a pu sensibiliser 80% de la population de la région. Je trouve cela formidable !!

Le sixième chapitre commence avec l'exposé de Richard West de l'ESO. Il raconte les débuts de l'EAAE, que les lecteurs des CC connaissent bien grâce aux rapports de Josée Sert. Il expose le projet "Astronomy on line" qui a été effectivement réalisé en automne 1996. Les américains Andrew Fraknoi et ses collègues de l'astronomical Society of the Pacific de San Francisco nous racontent les projets de leur société pour travailler avec les enseignants et les étudiants.

La situation de la formation des enseignants en Europe est traitée dans l'article de Lucienne Gouguenheim et de Michèle Gerbaldi.

Laura Abati, de Padoue, nous parle de la situation de l'enseignement de l'astronomie en Italie, tandis que William Orchiston et ses collègues nous relatent celle de la Nouvelle Zélande. Il y a encore quelques projets détaillés des centres d'éducation.

Enfin, Martin J. Rees, invité de l'Université voisine de Cambridge. Il donne un très intéressant aperçu de la situation de la compréhension par le public et les médias des sciences et de l'astronomie.

Que puis-je encore dire de ce volume ? Je souhaite qu'il se trouve dans les bibliothèques des écoles de tous niveaux pour aider les enseignants à trouver des idées nouvelles pour leur difficile travail quotidien. Et, pour les lecteurs

des CC et membres du CLEA, je dois relater ma propre expérience de l'année dernière quand je fus invitée à donner un discours de 60 min à la conférence du GIREP (éducation en physique) à Duisbourg, Allemagne. Le thème de la conférence était "Hands-On Experiments in Physics" et je devais parler de l'astronomie. Les physiciens avaient apporté beaucoup d'instruments plus ou moins sophistiqués tandis que moi j'avais une trentaine de transparents pour rétroprojecteur. Quand j'ai préparé la version écrite, j'ai vu que la plupart de mes transparents et dessins provenaient des publications du CLEA ! Il y avait, entre autres, le dessin des enfants jouant aux ombres (les inscriptions traduites en anglais). Un physicien de Berlin à qui tout cela avait beaucoup plu, a voulu faire une photocopie de ce transparent. Vous voyez, chers lecteurs des CC, qu'il y a des idées simples qui sont encore appréciées dans ce monde encombré d'ordinateurs de toutes sortes !

Cecilia Iwaniszewska
Torun, Pologne.

Le ciel - mythes et histoire des constellations -

Les Catastérismes d'Eratosthène.
Texte traduit et commenté par Pascal Charvet et Arnaud Zucker.
Postface et commentaire astronomique par Jean-Pierre Brunet et Robert Nadal.
Format 18 / 25 ; 240 p. ; NIL éditions 1998 (149 F).

Spectacle du ciel étoilé... Se laserait-on de l'admirer ? Et cette merveille, cette rotation de l'ensemble sans que se déforment les unes par rapport aux autres les configurations que dessinent les étoiles. Voyez ces alignements, ces groupements plus peuplés, là on dirait une couronne... Tous les peuples de la Terre ont projeté sur cet écran géant du ciel nocturne leurs rêves et leurs fantasmes.

Nous devons aux ancêtres directs de notre civilisation européenne, aux Grecs de l'Antiquité (surtout du VI^e au III^e siècle avant JC) les noms et les légendes des constellations.

Conjonction miraculeuse, - Renan disait "le miracle grec" -, des premières conceptions scientifiques, le système des sphères homocentriques d'Eudoxe et la charge poétique d'une mythologie fabuleuse. Un débordement d'inventions, fruits d'une imagination merveilleuse, un dieu majuscule capable de toutes les prouesses, non tempéré mais raconté d'une façon presque ironique qui autorise à ne pas croire à l'invraisemblable sans perdre les enseignements d'une réflexion déjà rationnelle.

Nous voici à Alexandrie au temps d'Eratosthène, autrement dit, au centre d'une civilisation déjà riche d'un passé glorieux (Thalès, Pythagore, Socrate, Platon, Aristote, Aristarque, Eudoxe...). Eratosthène est, à Alexandrie, le grand maître de la riche bibliothèque. Il en est le correspondant avec tous les savants qui vivent autour de cette mer que Jean Perrin disait divine et spécialement Archimède qui lui livre les secrets de sa méthode. Lui-même s'intéresse aux nombres premiers dont Euclide a démontré qu'il en avait une infinité ; lui conçoit le moyen, son crible, de trouver tous les nombres premiers inférieurs un quelconque N donné. Esprit ouvert sur toutes les sciences, il profite de sa situation en Egypte et des richesses de la bibliothèque pour mesurer le diamètre du globe terrestre. Ayant lu tout ce qui pouvait l'être, il rédige ses **Catastérismes**, la première histoire des constellations.

Rendons grâce à Pascal Charvet et Arnaud Zucker d'avoir traduit et commenté ces textes dont on a cru longtemps qu'ils étaient seulement des abrégés des originaux d'Eratosthène. Non, ce sont bien de courtes notices écrites par le savant et qui sont l'occasion de commentaires précis des traducteurs experts en mythologie grecque. Ils ont été aidés, sur le plan scientifique, par des astronomes, Jean-Pierre Brunet et Robert Nadal, qui étaient déjà intervenus dans la traduction de **La sphère en mouvement et levers et couchers héliques** par Autolycos de Pitane (éd. Les Belles Lettres, 1979).

L'ouvrage actuel est précieux, enrichi d'illustrations par Robert Schenk.

Ayant lu et refermé le livre, je me suis retourné vers le spectacle toujours grandiose tel que je l'imagine (car de mes fenêtres de St Cloud je ne vois

dans le ciel que les lueurs de la capitale). Si nous étions privés des légendes grecques, ce ne seraient plus que des ensembles et des sous-ensembles de points lumineux. Alors que me fait rêver l'histoire de Céphée qui eut une fille aussi belle qu'Andromède et qui, grâce à sa variable δ a permis la première évaluation de la distance du Grand Nuage de Magellan dont les grecs ne soupçonnaient pas l'existence.

Gilbert Walusinski

Le Pic d'un siècle à l'autre

Jean-Pierre Brunet, Jean-Michel Mormone et Franck Caissière.
158 p.; format 24 / 31 cm ;
éd. Loubatières 1998 (245 F).

Herschel a fait de grandes découvertes en profitant d'une éclaircie pour installer son télescope dans une rue de Bath. Le 7 novembre 1631, Gassendi observa le passage de Mercure devant le Soleil depuis une fenêtre de la rue du Four, à deux pas de Saint Germain des Prés. Les astronomes doivent aujourd'hui s'expatrier sur des îles ou des montagnes lointaines pour retrouver un ciel limpide.

Ciel limpide qui fit la réputation de ce site exceptionnel, le Pic du Midi de Bigorre, et cela nous vaut aujourd'hui ce beau livre de souvenirs à recommander aux amis de l'astronomie et aux amis de la montagne.

En 1878 commence la construction d'un observatoire d'abord conçu pour la météorologie. Le site est déjà fameux chez tous les pyrénéens. D'année en année, les constructions sont complétées, perfectionnées et surtout adaptées aux besoins de l'observation astronomique. Une belle histoire que je suggère d'ouvrir à la page 25 : l'observatoire et le panorama dans les années 20. Comparez avec les pages 131 et 137 qui nous montrent l'observatoire actuel.

On comprend l'attachement des praticiens pour cet observatoire avec tous les souvenirs qui y sont attachés. C'est là que Lyot fit ses plus belles photos du Soleil et des planètes, qu'il a réalisé son film "les flammes du Soleil" (cf. CC 82).

On partage leur émotion à retrouver au fil des pages ces cartes postales d'un

autre âge, le ravitaillement par la caravane des mulets...

Au CLEA nous avons eu le récit d'une mission au Pic au cours de laquelle une équipe de collègues exploiteront le spectrographe de Daniel Bardin qu'ils avaient déjà admiré pendant l'Université d'été de Grasse. Nous sommes donc directement intéressés par ce beau livre. Merci à Jean-Pierre Brunet, à Jean-Michel Mormone et à Franck Vaissière de nous faire partager leur double amour de la montagne et de l'astronomie.

G.W.

L'image du monde, des babyloniens à Newton

Arkan Simaan et Joëlle Fontaine.
Préface de Jean Rosmorduc.
238 p. ; ADAPT éditions 1998 (95 F).

Le sujet de ce livre, la grande révolution scientifique de la Renaissance, est bien connu. En reprendre le récit nous intéresse toujours et spécialement ici quand le récit est le fruit du travail en collaboration de deux enseignants. L'une est historienne, l'autre est physicien. Le champ couvert va des Babyloniens aux Newtoniens avec une petite incursion dans la science arabe, en particulier avec Alhazen et le concept de rayon lumineux. Nous devons à l'historienne un bon développement des relations entre progrès des sciences et mouvements religieux.

Les auteurs ont fait oeuvre didactique en multipliant notices biographiques et encarts explicatifs. On peut regretter toutefois que la place de ces encarts ne soit pas toujours bien choisie. Placer l'encart sur le principe d'inertie dans le chapitre sur Aristote fait aussi anachronique que traiter de la parallaxe stellaire dans les pages sur Hipparque (en y ajoutant une définition erronée de la parallaxe diurne).

Il faut féliciter les auteurs d'avoir adopté un style simple, d'avoir évité tout appareil technique rebutant pour les non spécialistes à qui le volume est évidemment destiné. On a relevé quelques négligences qui pourront être facilement corrigées ; par exemple p. 36, "l'axe des pôles incliné de 23° 27' par rapport à l'écliptique" ou, p. 86 à propos de la ré-

forme grégorienne "on déclarera bissextiles les années divisibles par 4".

Autre regret, la bibliographie ne mentionne pas **La révolution astronomique** par A. Koyré, essentielle pour la connaissance de l'oeuvre de Kepler et que parmi les revues susceptibles d'intéresser les enseignants **Les Cahiers Clairaut** soient ignorés.

G.W.

TOPEX-POSEIDON, mesureur des océans

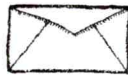
Jean-Pierre Penot, BT 1103, 48 p.
Bibliothèque de Travail fondée par Célestine Freinet.

Dans ce nouveau BT, Jean-Pierre Penot raconte la mission Topex-Poseidon, Topex pour le satellite américain (TOPography EXperiment for ocean

circulation) et Poséidon pour le programme français d'altimétrie.

Il y ajoute une documentation sur l'histoire des océans et des nouvelles d'actualité du CNES, en particulier sur le vol Ariane 503, le nouveau lanceur qui emportait, le 21 octobre 1998, Maqsat 3, une maquette de satellite de communication et la capsule ARD (Atmospheric Reentry Demonstrator).

G.W. ■



L'Eclipse du 11 août

Nous avons reçu plusieurs contributions concernant la prochaine éclipse totale qui a inspiré de nombreux collègues mais nous ne pouvons pas toutes les publier.

Nous remercions en particulier notre collègue Alain Sprauer pour son travail. Celui-ci nous informe que la **SAGFA** (Société astronomique de France Groupe Alsace) se **mobilise sur le site Bitche-Hottviller-Rohrbach (57) et organise une manifestation très importante du 6 au 11 août.**

Contactez Alain Sprauer, secrétaire de la SAGFA, 79, rue Baldung-Grien, 67720 WEYERSHEIM.

Les **Amis du Planétarium d'Aix en Provence** consacrent à l'éclipse le n° 11 de leur bulletin (hiver 1998 / 99).
Maison des Associations, Place de l'Eglise, 13540 PUYRICARD.

Quelques-uns des nombreux sites sur Internet :

Le CLEA : <http://www2.ac-nice.fr/clea/UEAstro.html>

Le Bureau des Longitudes : <http://www.bdl.fr/Eclipse99>

L'Institut d'Astrophysique de Paris : <http://www.iap.fr/eclipse99>

La Société Astronomique de France : <http://www.iap.fr/saf/>

L'Observatoire Paris-Meudon : <http://mesola.obspm.fr/gallery/eclipse/eclipse.html>

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

A propos des ombres volantes

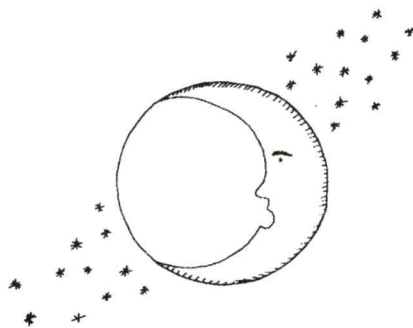
J'ai assisté le 27 mars au très intéressant atelier animé par Yves DELAYE à la maison de l'astronomie sur l'éclipse du 11 août. Superbes photos, précieux conseils : cet astronome qui a déjà vu 15 éclipses totales connaît le sujet à fond.

Sur 15 totales, il n'a pu observer que **2 fois les ombres volantes** (au Mexique et en Inde) et en déduit qu'il faut un **ciel pur**. Mais, dans les deux cas, il les a observées avant et après la totalité. Il les décrit comme des bandes qui "**se resserrent et défilent de plus en plus vite**". A sa connaissance il n'existe que **deux clichés dans le monde** (nous en avons vu un) : il pense qu'il faut au maximum un temps de pose de $1 / 1000^{\text{e}}$ de seconde, donc une pellicule très sensible.

Pour terminer, voici ce qu'écrivent à propos de ce phénomène J.P. Caussil et P. Simonnet dans le BUP 566 du mois d'avril : "ce sont des inhomogénéités d'éclairement dues à la turbulence de l'atmosphère proche, lorsqu'elle est traversée par la lumière d'une source aux dimensions assez faibles".

Alors, bonnes observations, bonne interprétation, et bon courage pour le troisième cliché mondial !

Anne-Marie Louis.



Les supernovae très lointaines révèlent un Univers en expansion accélérée

Lucette Bottinelli

Des observations de supernovae dans des galaxies très lointaines ont été entreprises, il y a quelques années, par deux groupes indépendants de chercheurs pour cerner l'allure à laquelle le taux d'expansion de l'Univers varie, soit qu'il se ralentisse soit éventuellement qu'il s'accélère. Les deux groupes viennent d'aboutir à la même conclusion, tout à fait inattendue : la densité moyenne actuelle de masse dans l'Univers semble insuffisante à freiner l'expansion de l'Univers et celle-ci pourrait subir une accélération.

Les paramètres fondamentaux de l'Univers

Trois paramètres fondamentaux gouvernent tous les modèles cosmologiques fondés sur la théorie de la Relativité générale. Ce sont : le taux d'expansion actuel caractérisé par la constante de Hubble H_0 , qui représente le rapport entre la vitesse d'expansion et la distance ; la densité moyenne de matière dans l'Univers, caractérisée par le paramètre de densité Ω_m (ce paramètre sans dimension exprime cette densité de matière en unité d'une certaine densité critique) ; la densité moyenne de l'univers associée à "l'autre forme d'énergie" éventuellement présente dans l'espace et caractérisée par le paramètre de densité Ω_Λ . C'est le paramètre de densité global actuel, $\Omega_0 = \Omega_m + \Omega_\Lambda$ qui détermine la géométrie de l'espace.

Le paramètre sans dimension Ω_Λ représente physiquement ce que l'on appelle "la constante cosmologique Λ ". Une telle constante, initialement introduite par Einstein pour rendre compte d'un Univers qu'il croyait alors statique, puis abandonnée par souci de simplicité, quand les observations démontrèrent que l'Univers est en expansion, implique l'existence d'un effet qui s'oppose à la gravitation. On montre qu'une constante cosmologique Λ positive est équivalente à un terme de pression négatif, dû à la densité d'énergie du vide, qui

serait constante dans le temps et dans l'espace. L'effet d'une constante cosmologique non nulle est donc à la fois de participer à la courbure de l'espace et de tendre à accélérer l'expansion de l'Univers. C'est cette interprétation qui paraît être l'explication la plus plausible des récentes observations de supernovae très lointaines.

A la recherche de supernovae de type Ia à grand décalage spectral

La première équipe américaine de Berkeley, autour de Saul Perlmutter, a développé depuis une dizaine d'années une stratégie d'observation destinée à découvrir des supernovae de type Ia (SNIa) avant qu'elles aient atteint leur maximum de lumière, puis à les observer avec la meilleure efficacité pour obtenir de bonnes courbes de lumière. L'équipe a rassemblé à ce jour les courbes de lumière et les spectres de 80 supernovae, de décalage spectral relatif z allant de 0,18 à 0,83 (on rappelle que z représente le rapport entre le décalage en longueur d'onde observé pour une raie spectrale de longueur d'onde au repos λ_e , et cette longueur d'onde λ_0). La seconde équipe s'est organisée à l'échelle mondiale en 1995 autour de Brian Schmidt, de l'Observatoire australien du Mont Stromlo. Elle vient de publier un travail fondé sur la découverte de 16 supernovae de type Ia, dont

trois ont un décalage spectral de l'ordre de 0,5 et une quatrième un décalage spectral record égal à 0,97.

Ces supernovae ont l'immense intérêt d'avoir à leur maximum une très grande luminosité, ce qui les rend observables à de très grandes distances ; cette luminosité au maximum de lumière est en outre pratiquement toujours la même ou, dans une seconde approximation, légèrement variable d'une supernova à l'autre, la variation étant corrélée à des caractéristiques identifiables de la courbe de lumière. Par contre, elles se produisent rarement : moins d'une fois par siècle dans une galaxie donnée. Et l'événement doit être saisi rapidement quand il se produit : la supernova atteint son maximum en quelques semaines, puis décline à l'échelle du mois.

La stratégie de découverte de la première équipe a donc été organisée de la façon suivante. Dans une première étape, on prend une centaine de clichés avec le télescope de 4 mètres de l'Observatoire interaméricain de Cerro Tololo. Chacun d'eux comporte plus d'un millier de galaxies de grand décalage spectral. Trois semaines plus tard, on fait une nouvelle photographie des mêmes champs, puis on effectue une soustraction automatique de chacun des champs obtenus à 3 semaines d'intervalle, ce qui met immédiatement en évidence toute source de lumière apparue sur le second champ. On observe tout de suite le spectre de ces sources au moyen du télescope Keck. Seules sont retenues les supernovae dont le spectre est caractéristique de la classe des supernovae de type Ia. Les supernovae de grand décalage spectral sont suivies régulièrement, aussi longtemps qu'elles restent observables, au moyen de télescopes variés, et en deux couleurs, de façon à connaître - et corriger - les effets d'extinction. La seconde équipe travaille de façon assez similaire ; l'une et l'autre ont accès au télescope spatial Hubble lorsqu'elles découvrent des supernovae de très grand décalage spectral.

Au total, il faut noter que ces observations sont le fruit de campagnes coordonnées internationales mettant en jeu, outre le télescope spatial Hubble, de nombreux grands télescopes au sol. On pourra trouver des informations sur les programmes des équipes en question en

interrogeant les sites internet suivants : <http://www-supernova.lbl.gov/> ; <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/oir/Research/supernova/HighZ.html>.

Le diagramme de Hubble

Le diagramme de Hubble classique dans lequel on porte la distance d d'une galaxie en fonction de son décalage spectral z (en coordonnées logarithmiques) se présente sous la forme d'une droite qui traduit la loi de Hubble. Si les astres utilisés ont tous la même puissance intrinsèque (ou magnitude absolue M en échelle logarithmique), on peut lui substituer un diagramme où l'on remplace le logarithme de la distance par la magnitude apparente m (on rappelle que : $m - M = 5 \log d + 25$, où d est exprimé en Mégaparsecs).

Le fait que les SNIa aient toutes la même magnitude absolue à leur maximum implique une relation linéaire de la forme : $m(\text{max}) = 5 \log cz + \text{constante}$, entre $m(\text{max})$, la magnitude apparente au maximum, et $\log z$. Cette relation est obtenue en remplaçant d par cz/H_0 , selon l'expression classique de la loi de Hubble. Cependant pour des valeurs de z élevées, il n'est plus licite d'utiliser cette forme simple et la magnitude apparente théorique m d'une source donnée (avec M et z fixés) va dépendre du modèle d'Univers caractérisé par les paramètres cosmologiques (H_0 , Ω_m , Ω_Λ) dont il a été question précédemment.

En pratique, les différents modèles prédisent des valeurs de m distinctes de l'ordre de une magnitude au plus, seulement au-delà de $z = 0,46$ environ. Enfin, pour une classe de sources homogènes, c'est-à-dire de même magnitude absolue, comme le sont les SNIa à leur maximum, on peut prévoir la relation entre $m(\text{max})$ et $\log z$ (c'est-à-dire le diagramme de Hubble) pour les SNIa de tout z , selon les modèles d'Univers ; ces relations montrent que $m(\text{max})$ augmente quand $\log z$ augmente (une supernova, de puissance intrinsèque constante à son maximum, apparaît d'autant plus faible qu'elle est éloignée), en suivant une variation qui dépend du modèle cosmologique adopté. On peut donc concevoir que l'on puisse contraindre les modèles en comparant le diagramme de Hubble observé jusqu'à des grands z , aux prédictions théoriques.

Les résultats récents sur les SNIa à grand décalage

Les deux équipes ont découvert des supernovae de type Ia de grand décalage spectral. Une toute dernière information fait état de la découverte d'une détection à un décalage $z = 1,12$. Plus d'une quarantaine de supernovae sont disponibles avec z compris entre 0,3 et 1. Le diagramme de Hubble des supernovae avec z compris entre 0,01 et 0,1 indique bien une relation linéaire comme prévu. Par contre, pour les supernova à grand z , l'écart à la linéarité est clairement décelable.

Si l'on part de l'idée la plus simple, à savoir que la gravitation est seule à agir ($\Lambda = 0$ et donc $\Omega_\Lambda = 0$), on s'attend à ce que le diagramme de Hubble observé soit situé dans le domaine des modèles qui correspondent à $\Lambda = 0$ et à l'éventail des valeurs plausibles du paramètre de densité Ω_m , et donc en-dessous de celle de ces courbes qui correspondent à la plus faible valeur admissible de Ω_m . Or l'un et l'autre des deux groupes obtiennent des observations à grand z qui semblent localisées au-dessus d'une courbe limite supérieure, correspondant au cas extrême d'un univers vide, avec $\Omega_m = 0$. Même en supposant la densité de masse beaucoup plus faible que les valeurs actuellement admises, il semble donc nécessaire d'admettre l'existence d'une constante cosmologique non nulle.

Les deux groupes concluent que la solution ($\Omega_m = 1$; $\Lambda = 0$) qui avait jusqu'ici la faveur des théoriciens est totalement exclue. Les théoriciens adoptaient cette solution parce qu'ils faisaient le choix de l'inflation, sans constante cosmologique ($\Omega_0 = 1$ avec $\Omega_\Lambda = 0$; donc $\Omega_m = 1$) c'est-à-dire que le paramètre de densité global Ω_0 était assimilé à Ω_m sans aucune contribution due à une constante cosmologique. Si l'on continue à adopter l'inflation, la meilleure solution correspondant aux observations est de l'ordre de $\Omega_m = 0,25$ et $\Omega_\Lambda = 0,75$; cela correspond à une constante cosmologique non nulle et à un paramètre de décélération négatif, ce qui implique une accélération de l'expansion.

A suivre...

Documents pour les fiches CLEA BELIN

DCB

20 exemplaires
(70 F-65 F)

Transparents animés pour rétroprojecteur

(55 F-50 F)

T1 Le TransSoLuTe
(phases de la lune et éclipses)
T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

FCR

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

- D1** Phénomènes lumineux
- D2** Les phases de la Lune
- D3** Les astres se lèvent aussi
- D4** Initiation aux constellations
- D5** Rétrogradation de Mars
- D6** Une expérience pour illustrer les saisons
(série de 8 vues 35 F-30 F)
- D7** Taches solaires et rotation du Soleil
- D8** Comètes

DIAPOSITIVES

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

Publications du CLEA

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



Chèques à l'ordre du CLEA

Les fiches d'activité pédagogiques du CLEA

- HS1** L'astronomie à l'école élémentaire
- HS2** La Lune niveau collège 1
- HS3** Le temps, les constellations, niveau lycée
- HS4** Astronomie en quatrième
(Chaque HS 68 F-48 F)
- HS5** Gravitation et lumière, niveau terminale
(83 F-73 F)
- HS6** L'âge de la Nébuleuse du Crabe
avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies
niveau lycée
(110 F-100 F)
- HS7** Étude du spectre du Soleil
(58 F-50 F)
- HS8** Étoiles variables (à paraître en 99)
(80 F-70 F)

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

Cours polycopiés d'astrophysique

(Maîtrise de l'université
Paris XI-Orsay)

P1

Astrophysique générale
(63 F)

P2

Processus de rayonnement
(30 F)

P3

Structure interne
et évolution des étoiles
(35 F)

P4

Astrophysique solaire
(35 F)

CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 1999

Cotisation simple au CLEA pour 1999	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 85 à 88	140 F

Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT ET cotisation au CLEA pour 1999	190 F
---	-------

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

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

COLLECTIONS DES **CAHIERS CLAIRAUT**

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

Adresser adhésions,
abonnements ou commandes à

Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA

Catherine Vignon
21 rue d'Anjou
92 000 Asnières

Publications...

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

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

Publication du planétarium de Strasbourg

LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes :

toutes les données disponibles du Centre des Données Stellaires de l'Observatoire
de Strasbourg concernant 2 000 étoiles visibles à l'œil nu (75 F)

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

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

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