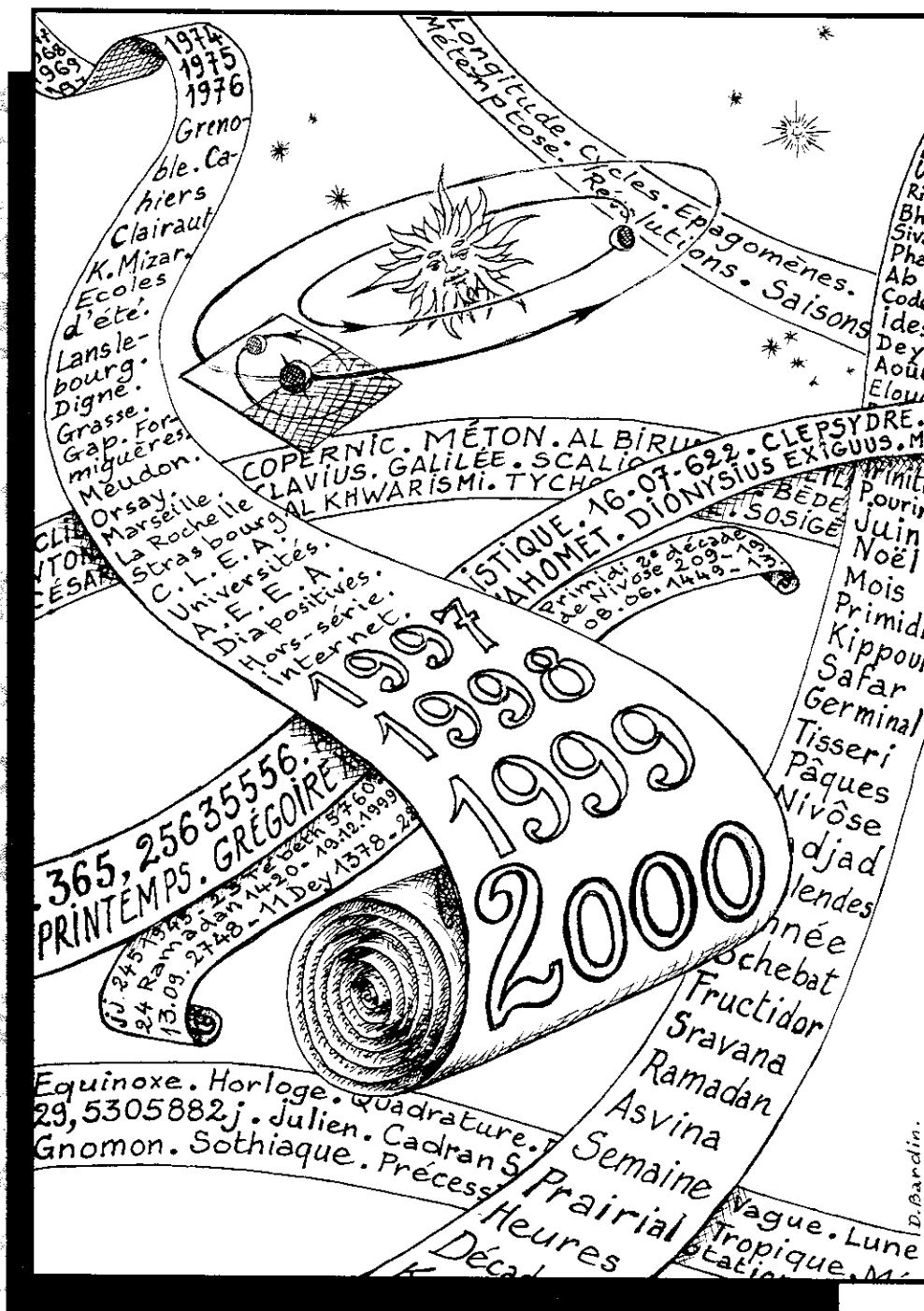


# Les Cahiers Clairaut



## 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  
Té / Fax : 0 69 15 63 80  
Le CLEA est présent sur internet à l'adresse :  
<http://www2.ac-nice.fr/cec>

### Bureau du CLEA pour 2000

#### Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER  
Evry SCHATZMAN

#### Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

#### Vice-Présidents

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

#### Rédactrice-Secrétaire

Martine BOBIN

#### Trésorière-Secrétaire

Catherine VIGNON

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

### Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

## EDITORIAL

En ce début d'année "tombent" les dotations horaires globales ainsi que les moyens attribués par le ministère pour mettre en place sa réforme...

Bon nombre des membres du CLEA sont partie prenante dans la mise en place des TPE en première. Ces Travaux Personnels Encadrés sont une plage de liberté pour que nos élèves puissent réaliser, avec notre aide, des travaux interdisciplinaires. Nous pouvons, chacun dans notre établissement, veiller à ce que ces heures soient intégrées dans le service et non pas payées en HSE (Heures Supplémentaires Effectives) afin que ces travaux aient des chances de réussite.

Nous pouvons aussi oeuvrer pour que les nouveaux programmes de physique et de SVT de seconde soient un succès. La publication, dans ces Cahiers, d'articles dont le contenu est directement lié à ces programmes est un moyen d'y contribuer.

Un grand merci à tous les auteurs des Cahiers qui contribuent à faire de notre revue un outil de travail et de réflexion original.

Nous pouvons encore améliorer le rôle de liaison de ce bulletin en augmentant les échanges entre nous.

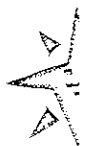
N'hésitez donc pas à nous écrire, à donner votre avis à faire partager vos expériences.

Nouvelle année, nouveau dessin de Daniel Bardin :

"sur le dessin de couverture, il nous a semblé agréable de jeter pêle-mêle quelques jalons à propos du TEMPS et de son repérage.

Nos lecteurs pourront savourer cette année 2000 en retrouvant quelques pistes de réflexions : les orbites (la Terre et la Lune, mais aussi Vénus) autour du Soleil, les mois dans divers calendriers, les instruments, les concepts, et des célébrités qui oeuvrèrent toutes un jour pour qu'émergent des dates des nombres et leurs précieuses décimales".

La rédaction.



# Les Cahiers Clairaut

Printemps 2000 n° 89



## Article de fond

Où sont-ils ?

p. 2



## Avec nos élèves

Un calendrier mural  
(niveau primaire)

p. 9

Les travaux et les jours  
(niveau lycée)

p. 12

L'astronomie dans les  
programmes de SVT  
de seconde

p. 17

Mesures de distances  
(niveau lycée)

p. 20



## Histoire

Eres et styles

p. 22



## Observations

Eclipse et sensation  
visuelle

p. 24

## Remue-méninges

Léonides

p. 27



## Réflexions et débats

Nous sommes ringards



Pourquoi une forma-  
tion des animateurs  
scientifiques ?

p. 28

## Vie associative

Compte-rendu de  
l'A.G. 99

p. 30



## Lectures pour la Marquise

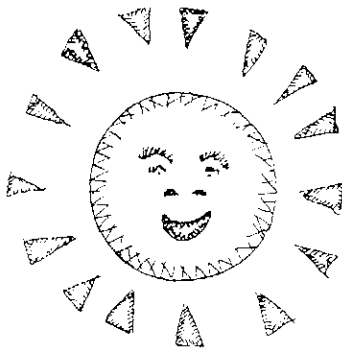
p. 36



## Les potins de la Voie lactée

p. 39





# Où sont-ils ?

Alfred Vidal Madjar, I.A.P.

Sommes-nous seuls ? Où sont-ils ? Quand les verrons-nous ?

L'auteur aborde le passionnant problème de la recherche de la vie extraterrestre d'un point de vue historique et montre comment l'évolution des connaissances en astronomie permet de préciser ce questionnement récurrent de l'humanité.

Pour écrire ce texte, déjà publié dans la revue de l'AFAS<sup>1</sup> A. Vidal Madjar s'est inspiré de son livre "Il pleut des planètes" dont le thème est la recherche des planètes extrasolaires.

L'idée de la pluralité des mondes a été depuis fort longtemps débattue par les astronomes, théologiens, philosophes, écrivains et autres penseurs des nombreuses sociétés humaines. En particulier, on reste rêveur devant les intuitions géniales des philosophes grecs lorsqu'on sait quel était l'état de leurs connaissances réelles en astronomie. Par exemple, Thalès pensait déjà que les étoiles étaient faites d'une matière semblable à celle qui se trouve sur Terre. Ensuite, pendant plus d'un millénaire, la religion chrétienne à la suite de Ptolémée placera la Terre au centre de l'Univers interrompant ainsi toute discussion. C'est avec Copernic que renaîtront ces recherches, la Terre n'étant plus à nouveau qu'une "terre" parmi tant d'autres. Cet argument fut considérablement renforcé par l'observation directe qui devint possible grâce à l'invention de la lunette astronomique par Galilée.

Une ère nouvelle s'ouvrait à l'astronomie. Le débat s'est alors intensifié pour prendre des tournures parfois irrationnelles essentiellement par manque d'observation. Ainsi certains ne remettent plus vraiment en doute la présence d'habitants sur d'autres mondes allant jusqu'à argumenter sur la taille de leur population ou sur le degré de culture et de moralité de leurs peuples (voir le texte en annexe, extrait de l'Astro-

nomie populaire de Camille Flammarion).

Inversement, certaines observations difficiles déclenchèrent parfois de grands rémous tels que, par exemple la découverte de canaux sur Mars à la fin du siècle dernier par Schiaparelli. Ainsi, la progression dans ce domaine fut extrêmement lente à cause du foisonnement de théories rarement confrontées à l'observation directe. Cette comparaison est la condition indispensable à tout progrès scientifique véritable.

Un exemple récent de cette progression difficile et parsemée d'embûches est celui des satellites de Mars, Phobos et Deimos, que l'astrophysicien Schklovsky avait imaginé creux et donc artificiels, à partir de données d'observations très incertaines et de fait erronées.

Avec l'avènement de l'ère spatiale et la visite directe des planètes du Système solaire, beaucoup de données très précises ont été collectées permettant des progrès remarquables dans la compréhension des mécanismes d'apparition de la vie dans l'Univers. Toutefois, l'étude d'éventuelles civilisations extra-terrestres restait, elle, totalement spéculative jusqu'à la publication d'un article véritablement révolutionnaire, en septembre 1959 par Giuseppe Cocconi et Philip Morrison.

Ils ont fait basculer le débat sur la plu-

ralité des mondes du domaine de la discussion purement académique à celui de la confrontation scientifique. Leurs idées pouvaient en effet être directement mises à l'épreuve de l'observation. Ils prédisaient que, compte tenu de nos connaissances en astrophysique, il était raisonnable de penser que des formes de vies semblables à la nôtre devaient être apparues ailleurs. Cependant que grâce aux progrès technologiques notre civilisation était capable d'émettre et de recevoir des signaux à grande distance, une autre civilisation qui aurait suivi le même chemin devait pouvoir communiquer avec nous. La question était alors d'évaluer ses chances d'exister et, en conséquence, si cette probabilité était élevée, de définir le moyen logique le plus adéquat pour entrer en contact. Ils proposent d'utiliser le rayonnement radio à une longueur d'onde qui doit être inévitablement connue de tout habitant de l'Univers et qui se trouve dans une région du spectre où le bruit de fond Galactique parasite est particulièrement bas : la raie à 21 cm de l'hydrogène, élément le plus simple et le plus abondant de l'Univers.

Cet article a déclenché toute une série de discussions et l'émergence du projet "Ozma" lancé par Frank Drake, grâce auquel il espérait détecter un signal "intelligent" en provenance d'étoiles proches, à cette longueur d'onde de 21 cm. Après un premier résultat négatif, il organisa la célèbre réunion de Green Bank en 1961 au cours de laquelle les arguments originaux étaient reconsidérés. En particulier un point important était débattu : pouvait-on évaluer plus précisément la probabilité d'existence d'une telle civilisation ? En effet, si cette probabilité était trop faible, cette recherche devenait évidemment vaine.

L'estimation du nombre N de civilisations capables de communiquer dans la Galaxie a été quantifiée grâce à la formule de Drake qui a la forme suivante :

$$N = E f_p n_t f_v f_i f_c T$$

Dans cette formule, E est le nombre d'étoiles qui naissent chaque année dans notre Galaxie,  $f_p$  est la fraction

d'étoiles qui seront entourées d'un cortège planétaire,  $n_t$  représente parmi ces planètes le nombre de celles qui se trouveront dans des conditions semblables à celle où se trouve la Terre,  $f_v$  est parmi celles-ci la fraction d'entre elles où la vie apparaîtra,  $f_i$  la fraction de celles pour laquelle la vie évoluera vers l'intelligence,  $f_c$  parmi ces sociétés intelligentes celles qui communiqueront et enfin T le temps pendant lequel cet effort de communication sera maintenu.

Avant de discuter chaque élément de cette formule, qui ne servira que de guide dans notre propos, il est amusant de tester son efficacité sur un problème différent mais dont nous connaissons la réponse a priori : combien y-a-t-il d'excellents restaurants  $N_R$  dans un pays comme la France ? Avec la même approche (suivant une idée de Donald Goldsmith et Tobias Owen) nous dirions que ce nombre peut s'évaluer à l'aide de la formule suivante :

$$N_R = V f_R n_R f_{loc} f_d f_s f_q f_p f_h D$$

où V serait le nombre de villes apparues en moyenne par an, parmi ces villes  $f_R$  la fraction ayant des restaurants,  $n_R$  le nombre moyen de restaurants par ville,  $f_{loc}$  la fraction des restaurants bien localisés,  $f_d$  la fraction bien décorée,  $f_s$  la fraction au personnel stylé,  $f_q$  ceux qui ont une nourriture de qualité,  $f_p$  ceux qui pratiquent des prix corrects,  $f_h$  la fraction ayant des heures d'ouverture commodes, et enfin D la durée de vie moyenne d'un tel restaurant.

Là, chacun peut mettre ses estimations personnelles mais le résultat final sera toujours de l'ordre de la dizaine, évaluation tout à fait en accord avec nos meilleurs guides gastronomiques (voir Gault et Millau 1998).

A titre d'exemple, on peut évaluer à 30 le nombre de villes nouvelles par an (environ 30000 villes créées en 1000 ans),  $f_R$  à 0,99 (il est rare de trouver une ville sans restaurant !)  $n_R$  est en moyenne de l'ordre de 100 par ville,  $f_{loc} = 0,2$  (20% sont bien localisés)  $f_d = 0,1$  (10% sont bien décorés),  $f_s = 0,05$  (5% ont un personnel stylé),  $f_q = 0,1$  (10% ont une nourriture de qualité),  $f_p = 0,3$  (30% pratiquent des prix corrects),  $f_h = 0,9$  (90% sont ouverts à

des heures commodes et  $D = 100$  (ces restaurants de qualité ont en général une durée de vie assez longue, liée à un attachement à des traditions ancestrales).

Le résultat serait donc  $N_R = 8$ , évaluation tout à fait plausible.

Le problème avec cette approche est que le nombre de facteurs à ajouter dans la formule n'est pas limité ce qui pourrait conduire à des résultats complètement différents. Cette méthode est, disons le, ce qu'il est possible de faire quand on ne sait rien. Elle a le mérite au moins de souligner les facteurs qui pourraient être importants.

Revenons à nos civilisations extraterrestres. Nous pouvons estimer de la même façon que :

1°/ E est de l'ordre de 10 étoiles nouvelles par an (un ordre de grandeur très simple est donné par l'estimation du nombre d'étoiles de la Galaxie, 150 milliards, divisé par l'âge de notre galaxie qui est d'environ 15 milliards d'années).

2°/  $f_p$  : les théories de formation d'étoiles semblent montrer que la nébuleuse primitive en se condensant doit former un disque au sein duquel les planètes naîtront, donc  $f_p$  doit être important puisque c'est le même processus qui fait naître l'étoile et son cortège de planètes au sein de la nébuleuse primitive en forme de disque. Une valeur raisonnable doit être 0,2 car dans les systèmes d'étoiles multiples (les plus importants puisque 70% des étoiles en font partie) il semble difficile d'y voir survivre un disque.

3°/  $n_t$  : il semble raisonnable de penser que parmi le cortège de planètes il y en aura toujours une à peu près à la bonne distance de l'étoile et de type terrestre (dans le cas du Système solaire on a failli avoir Vénus et Mars en plus de la Terre !) ;  $n_t$  peut être probablement de l'ordre de 1.

4°/  $f_v$  : la fraction de planètes bien placées où la vie apparaîtra pourrait bien être aussi 1, car rien d'exceptionnel ne semble s'être produit sur la Terre depuis sa formation.

5°/  $f_i$  : une fois la vie apparue, les mécanismes de sélection semblent inévitables pour faire émerger l'intelligence :  $f_i = 1$ .

6°/  $f_c$  : la fraction de civilisations

intelligentes capables de communiquer semble être liée au progrès technologique. lui aussi assez probable : mettons  $f_c$  de l'ordre de 0,2

$7^\circ / T$  représente le durée de vie d'une telle civilisation et en particulier la durée de son effort de communication : toute estimation est évidemment hasardeuse, les plus pessimistes annonçant une centaine d'années pour le temps séparant les progrès techniques scientifiques de la fin systématique de telles civilisations par autodestruction "technologique". les plus optimistes répondant que ces progrès donnent eu contraire à ces civilisations une chance de survie telle qu'elles peuvent durer "indéfiniment" ; une valeur limite "raisonnable" serait d'un milliard d'années, ordre de grandeur de la durée de vie d'une étoile.

On réalise immédiatement que le paramètre important et même crucial dans cette évaluation est évidemment le paramètre le plus mal connu  $T$ . Ainsi les optimiste évalueraient  $N$  à plusieurs centaines de millions de civilisations capables de communiquer en ce moment dans la Galaxie, alors que les plus pessimistes estimerait ce nombre à une centaine et même éventuellement quelques unité, s'ils considèrent que d'autres paramètres doivent être aussi réduits.

Ceci semble montrer finalement qu'il est tout à fait plausible que d'autres civilisations existent et que leur recherche pourrait être couronnée de succès mais qu'il est possible que nous soyons très peu nombreux dans la Galaxie. Finalement nous savons bien peu de choses.

Cette recherche s'est malgré cela considérablement intensifiée de par le monde avec des moyens de plus en plus efficaces, le nombre d'étoiles "écoutées" a cru considérablement, le nombre de longueurs d'onde sondées aussi, toutes ces recherches coordonnées dans le cadre de collaborations internationales sous le nom du programme Seti auquel a participé la France à l'aide de son radiotélescope de Nançay, sous l'impulsion de François Biraud et de Jean Heidmann<sup>3</sup>.

Les résultats restant toutefois strictement négatifs, à part quelques grandes excitations éphémères liées à des découvertes d'objets astronomiques nouveaux tels que les pulsars (le signal qu'ils émettent est si particulier qu'il a paru dans un premier temps artificiel et donc attribué aux "petits hommes verts". sic). l'analyse des différents paramètres entrant dans la formule de Drake a été reconsidérée. Nous allons donner ici l'évolution des idées à ce sujet, évolution qui révèle les progrès remarquables effectués ces cinq dernières années grâce à l'observation, maintenant directe de la formation des étoiles et aux récentes découvertes des planètes extrasolaires.

Le taux de formation stellaire est plus faible qu'initialement évalué et doit se trouver plutôt autour d'une étoile nouvelle par an dans la Galaxie ( $E = 1$ ), la fraction d'étoiles  $f_p$ , capables d'avoir des planètes, a plutôt augmenté et est probablement de l'ordre de 1/2, car après la découverte de nombreux disques protoplanétaires et postplanétaires, 17 nouvelles planètes ont déjà été recensées autour d'autres étoiles. La première d'entre elles a été trouvée en orbite autour de 51 Pégase, en 1995, par Michel Mayor et Didier Queloz.

Ces planètes nous réservaient plusieurs surprises d'importance :

- 1 - elles sont une fois sur deux autour d'étoiles doubles ou multiples ;
- 2 - certaines sont beaucoup plus proches de leur étoile que Mercure du Soleil ;
- 3 - une bonne partie de ces planètes sont sur des orbites fortement elliptiques ;
- 4 - une d'entre elles gravite autour d'une étoile de petite masse (0,3 masse solaire).

L'ensemble de ces nouvelles observations nous révèle certains de nos préjugés quant à la formation de systèmes planétaires, et nous apprend que la diversité est la règle. Ainsi il est directement observé qu'une étoile sur deux naît avec un disque protoplanétaire autour d'elle, que ce disque survit parfaitement dans les systèmes multiples et qu'il disparaît au bout d'environ dix millions d'années. Cette disparition

semble être liée à l'apparition de planètes géantes qui ont non seulement besoin d'une telle durée pour se former mais encore ont dû y contribuer puisqu'elles se sont nécessairement formées à partir de la matière même du disque. Enfin une étoile sur deux parmi celles qui ont une masse inférieure à celle du Soleil semble avoir un cortège de planètes, et comme elles représentent 80% de ces étoiles, il y a probablement plusieurs centaines de milliards de planètes dans notre Galaxie.

La description de ces découvertes récentes qui précisent de façon spectaculaire notre compréhension de la formation des systèmes planétaires, est donnée dans le livre que je viens d'achever "il pleut des planètes" car un pas de géant vient d'être franchi dans notre quête de la vie extraterrestre. Le nombre de systèmes planétaires dans l'univers doit être astronomique. Dans ce livre, j'utilise une orange dans un pré, quelques vaches sphériques, des moustiques sur des marguerites temporelles, des martiens à la curiosité indécente, des cyclopes maladroits, un million de supporters français au Mondial de Football 1998 et bien d'autres pour donner, par le biais de l'intuition, une approche différente de ces extraordinaires découvertes. Ainsi, dans la première partie je donne quelques règles pour jouer à cache-cache avec la Nature et dans la seconde j'aborde les découvertes proprement dites par un crescendo allant des étoiles naissantes aux nouvelles étoiles planétaires.

Dans les domaines les plus difficiles de cette évaluation du nombre de civilisations dans notre Galaxie, ceux liés à la vie, des progrès bien sûr ont aussi été accomplis. En fait, depuis les premières tentatives de recherche de vie extraterrestre, une nouvelle science est née qui traite entièrement du problème de l'apparition de la vie : l'exobiologie. Les études dans ce domaine ont révélé qu'un nombre important de difficultés ont dû probablement surgir sur le chemin de la vie, en tout cas telle qu'elle est apparue sur Terre. Ces travaux montrent non seulement l'importance de l'eau mais aussi la nécessité d'un cycle alternativement hors et dans ce milieu liquide.

Ainsi, les deux paramètres suivants de la formule de Drake,  $n_t$  et  $f_v$ , doivent être évidemment revus. En particulier Michael Hart a fait une modélisation complète de l'évolution de l'atmosphère terrestre en tenant compte de la présence des océans, de la variation du flux solaire depuis sa formation, des changements de composition de l'atmosphère, de l'effet de serre, de la couverture nuageuse, des glaces, etc.

Il a ainsi pu démontrer pourquoi Vénus était si chaude quoique relativement proche de la Terre et pourquoi Mars, qui, elle, a connu l'eau liquide à sa surface pendant plusieurs milliards d'années, n'a pas pu retenir son atmosphère forçant ainsi l'eau qui restait à être sous forme de glace. Cette modélisation a surtout montré que des circonstances très favorables se sont produites sur Terre pour que la température y reste relativement constante alors que le Soleil augmentait de luminosité. En particulier l'atmosphère primitive de la Terre comme celle de Vénus et de Mars devait contenir énormément de gaz carbonique qui, produisant le fameux effet de serre, l'avait réchauffée. Mais l'eau liquide était présente, le gaz carbonique a pu s'y dissoudre et précipiter avec le calcium pour former des roches calcaires aujourd'hui présentes sur la Terre. Ainsi, lorsque le Soleil se réchauffait, l'effet de serre diminuait, maintenant la température "agréablement constante". Sur Vénus, il faisait trop chaud dès le départ et l'eau s'y trouvant sous forme de vapeur n'a pu dissoudre le gaz carbonique de l'atmosphère. l'effet de serre s'est maintenu et le Soleil aidant, la situation n'a fait que s'aggraver au cours du temps.

Michael Hart a ainsi pu montrer que la position de la Terre dans le système solaire était bien plus critique qu'on ne le pensait et en particulier qu'en la rapprochant de quelques pour cent de sa distance actuelle au Soleil, on déclençait cet effet de serre divergent et jamais l'eau liquide n'aurait pu apparaître.

De la même façon il a montré qu'en l'éloignant d'à peine 1% du Soleil, les océans se seraient changés en glace et la lumière solaire, réfléchi plus efficacement (la glace est blanche), la Terre serait restée très froide sous un manteau

de glace qui n'aurait plus jamais fondu.

Ainsi nous nous trouvons (et ce n'est pas par hasard) dans la seule zone possible au voisinage du Soleil où l'eau peut rester liquide assez longtemps à la surface d'une planète, zone qui ne représente que quelques pour cent de la taille du Système solaire. De plus, heureusement que la Terre n'était pas plus petite car, incapable de retenir son atmosphère, elle aurait connu le sort de Mars.

Le nombre de planètes  $n_t$  favorables à l'apparition de la vie doit être revu à la baisse et ne doit pas dépasser quelques pour cent, disons  $n_t = 0,01$ . Le paramètre lié à l'apparition de la vie,  $f_v$ , doit aussi être revu parce que maintenant cinq étapes différentes sont apparues comme nécessaires :

$$f_v = \phi_o \phi_p \phi_r \phi_c \phi_a$$

La première étape ( $\phi_o$ ) consiste à former des molécules organiques à partir des matériaux originels de la Terre. Dans ce domaine, les expériences d'Harold Urey et Stanley Miller avaient montré qu'on pouvait, en laboratoire, à partir de mélanges gazeux ressemblant aux atmosphères primitives, faire à peu près tous les acides aminés connus (les briques du vivant) à l'aide d'un apport d'énergie comme la lumière ultra violette ou les décharges électriques<sup>4</sup>. De telles molécules produites dans l'atmosphère à la cadence d'une tonne par seconde, se dissolvent dans les océans où elles peuvent survivre à l'abri des ultraviolets (qui sans cela les dissocieraient). Le cycle **hors de l'eau - dans l'eau** commence : ces molécules se concentrent petit à petit et finissent par former une soupe organique dans laquelle va se dérouler l'étape suivante.

En fait trop d'acides aminés ont été produits car dans les êtres vivants terrestres, seuls vingt d'entre eux jouent un rôle. Le processus suivant va consister à créer de longues chaînes de tels acides (polymérisation) ( $\phi_p$ ) mais à partir de certains d'entre eux uniquement. La difficulté ici est que la polymérisation se fait très bien dans l'eau, mais comme l'eau dissocie aussi très bien les chaînes de molécules polymérisées, on se trouve dans la situation de Pénélope faisant et défaisant sans cesse son travail, il faut donc trouver un moyen

de protéger les polymères de l'eau et le cycle **hors de l'eau - dans l'eau** est à nouveau indispensable. Là, soit des lacs qui s'évaporent, soit des lieux propices aux effets de marée vont devenir nécessaires. la présence d'un gros satellite comme la Lune est sans doute une autre condition indispensable à l'apparition de la vie. Ensuite ces molécules compliquées doivent s'isoler du milieu extérieur (apparition de la membrane) et trouver un moyen de se reproduire ( $\phi_r$ ) C'est le passage de l'inerte au vivant, passage très mal connu et non encore résolu. Toutefois on sait déjà faire apparaître des membranes (les célèbres coacervats d'Oparin) et répliquer certains polymères. Pour cette étape, le retour partiel dans le milieu liquide est nécessaire. Encore le cycle **hors de l'eau - dans l'eau**.

Ensuite ( $\phi_c$ ) il faut former les premiers systèmes vivants unicellulaires, cellules qui existaient sur Terre il y a plus de 3,8 milliards puisqu'on en a retrouvé leurs traces fossiles.

Puis ( $\phi_a$ ) le mécanisme de sélection naturelle a fait évoluer ces systèmes vivants vers des êtres de plus en plus complexes.

Dans cette succession d'étapes, les choses vont au début très lentement puisqu'il faut au moins 200 millions d'années pour produire une soupe organique assez concentrée dans les océans. Ensuite, de plus en plus rapidement, les mécanismes doivent s'enchaîner pour mener à l'apparition des premiers êtres vivants. Cette succession d'événements a l'air inéluctable mais semble toutefois dépendre de ce cycle **hors de l'eau - dans l'eau**, qui pourrait ne pas toujours se produire. Comme il reste difficile d'évaluer chaque facteur, il semble plus raisonnable de dire aujourd'hui que globalement  $f_v$  est de l'ordre de 0,1 compte tenu de cette difficulté ; les différents facteurs  $\phi_o$ ,  $\phi_p$ ,  $\phi_r$ ,  $\phi_c$ ,  $\phi_a$ , étant tous probablement proches de l'unité.

Viennent ensuite les estimations de plus en plus incertaines qui, de fait n'ont que peu progressé ces dernières années. On peut toutefois dire que pour l'émergence de l'intelligence ( $f_i$ ), plusieurs sous-étapes aussi peuvent être identifiées telles que :

1 - le développement d'une atmosphère d'oxygène produite par les organismes vivants qui, quoique représentant la plus grande catastrophe écologique de tous les temps, c'est à dire après avoir provoqué la disparition de l'essentiel des espèces sur Terre, ce changement a permis le développement des cellules eucaryotes, capables d'employer les réactions chimiques faisant intervenir l'oxygène. Ces nouveaux mécanismes vont pouvoir faire fonctionner, beaucoup plus tard, un système tel que le cerveau, grand consommateur d'énergie :

2 - le passage du milieu aquatique à la terre ferme semble aussi nécessaire, une nouvelle forme du cycle **hors de l'eau - dans l'eau** ; il a été rendu possible par la formation de la couche d'ozone qui elle-même a été produite à partir de l'atmosphère d'oxygène ; elle protège des rayons ultraviolets du Soleil les êtres vivants qui avaient abandonné la protection aquatique : ce passage sur la terre ferme semble nécessaire au développement du cerveau puisque, même les cétacés aux capacités cérébrales évidentes, sont le fruit de l'évolution d'êtres qui ont fait un certain séjour hors des océans pour y retourner ensuite :

3 - la régulation thermique semble aussi une étape nécessaire, le cerveau fonctionnant évidemment mieux dans un environnement contrôlé :

4 - la spécialisation des mains et des yeux est probablement aussi indispensable au bon fonctionnement du cerveau : interaction formatrice de ces sens avec le cerveau :

5 - en rapport avec le point précédent émergence et développement des outils :

6 - le développement des structures sociales qui impose de nouvelles contraintes au développement du cerveau.

L'évaluation du facteur  $f_1$  reste toujours très vague mais probablement proche de l'unité, compte tenu des mécanismes très efficaces de sélection naturelle.

Sur le thème de la communication, peu de progrès ont été faits tant le problème est compliqué. Ce qui pourrait être ajouté toutefois est qu'il faudrait tenir compte de la capacité de communication  $f_c$  mais encore du désir de

communiquer  $f_d$ , paramètre nouveau encore plus obscur. En effet, il n'est pas facile de savoir si une civilisation a ou n'a pas le désir de communiquer. Cependant, comme toutes ne peuvent pas avoir la même attitude, pour masquer notre ignorance, il est "raisonnable" de dire que  $f_c$  est de l'ordre l'unité alors que  $f_d$  serait de l'ordre de 0,5.

Ces évaluations sont si difficiles qu'il ne nous reste probablement qu'à plaisanter sur le thème de la communication en imaginant une discussion entre deux dauphins, l'un disant à l'autre : "il est vrai que les humains font des gestes et émettent des sons mais il n'y a pas de preuve indiscutable qu'ils communiquent véritablement entre eux".

Le dernier paramètre D, définissant le temps pendant lequel une civilisation communiquera, est évidemment encore plus vague, mais là encore on pourrait préciser qu'il est difficile d'imaginer qu'une civilisation tente de communiquer sans résultat pendant plus d'un million d'années ; en effet on doit se lasser de tout !

Ainsi nos nouvelles estimations nous donnent :  $N = 2,5 \cdot 10^{-4}$ . D

L'estimation pessimiste serait donc de 0,01 civilisations dans notre Galaxie en train de communiquer alors que l'optimiste donnerait N plutôt de l'ordre de 100 civilisations. Ces nombres restant hautement incertains il serait finalement tout à fait possible que nous soyons seuls dans notre Galaxie.

Cette idée a encore été renforcée par un nouvel argument de Michael Hart fondé sur le fait que les voyages interstellaires ne semblent pas physiquement impossibles (des études techniques très précises ont montré qu'en extrapolant de façon plausible notre technologie actuelle, il serait possible d'envisager de se déplacer entre les étoiles à un dixième de la vitesse de la lumière). De tels voyages permettraient à une civilisation avancée de migrer "lentement" d'étoile en étoile. Le voyage jusqu'aux étoiles les plus proches pourrait se faire en quelques années "à peine". Cet argument ne semble mener nulle part et pourtant, si on admet qu'une telle civilisation émerge, ce qui pourrait être le cas de la nôtre dans, disons un millénaire (si elle existe toujours), elle se

répandrait dans la Galaxie en quelques cinquante millions d'années, ce qui est foudroyant ! Si une seule civilisation de ce type était apparue, elle serait presque "instantanément" présente partout dans la Galaxie et en particulier elle serait déjà là ! Or, comme nous ne la voyons pas, cela voudrait dire que nous sommes effectivement seuls sur notre île déserte galactique.

Pour mieux percevoir le côté foudroyant de cette expansion et donc pourquoi nous sommes probablement seuls, nous allons transposer les échelles de temps car la raison est en effet essentiellement temporelle. Nous allons ainsi fabriquer un calendrier dans lequel une année représente la durée de l'Univers tout entier depuis sa naissance jusqu'à aujourd'hui. Dans une telle transposition les dates importantes sont celles indiquées dans le tableau de la page suivante.

Ainsi ce dernier argument de Michael Hart renforce amplement le paradoxe déjà soulevé Enrico Fermi quand il disait : "mais où sont-ils ?"

Pour contourner ce paradoxe, il semble difficile aujourd'hui de trouver des arguments tels que :

1 - les voyages interstellaires sont impossibles : difficiles certainement mais pas impossibles ;

2 - "Ils" ne sont pas encore là ; si tel était le cas, depuis que notre Galaxie existe notre civilisation serait la première à avoir émergé ! Concernant l'émergence de la vie, il ne se serait donc rien passé ou presque, de mai à septembre, au cours de l'Année Cosmique ; cela paraît bien improbable ;

3 - "Ils" ne viennent pas pour des raisons sociologiques telles que manque d'intérêt, autodestruction, par souci d'économie ou parce que nous serions à l'intérieur d'un "zoo" protégé ; tous ces arguments sont difficiles à tenir car ils imposeraient qu'aucune civilisation jamais n'aurait franchi tous ces obstacles ; cela serait une éventualité bien trop systématique comptetenu de la diversité des civilisations qu'il est raisonnable d'imaginer.

On se retrouverait donc seuls, à nouveau au centre de l'Univers ! Bien gênante situation après des siècles de lutte contre l'anthropocentrisme.



## Année cosmique

Big Bang	1er janvier
Premières galaxies	2 janvier
Origine de la Voie lactée (le disque)	1er mai
Origine du Système solaire	13 septembre
Origine de la vie	20 septembre
Forme simple de vie	11 octobre
Premiers fossiles	15 octobre
Début de la photosynthèse	12 novembre
Floraison des cellules eucaryotes	20 novembre
Atmosphère d'oxygène et d'azote	3 décembre

## Décembre

Atmosphère d'oxygène et d'azote	3
Volcanisme et fleuves martiens	7
Premiers vers	16
Trilobites, plancton	18
Premiers poissons, vertébrés	19
Premières plantes sur la terre	20
Premiers animaux quittent les océans	21
Premiers insectes volants	22
Premiers arbres, premiers reptiles	23
Premiers dinosaures	24
Règne des dinosaures	25
Premiers mammifères	26
Premiers oiseaux	27
premières fleurs ; les continents se séparent	28
Premiers cétacés ; premiers primates	29
Fin des dinosaures ; règne des mammifères	30
Premiers humains	31

## 31 décembre

Le premier singe descend des arbres	14h
En Europe les arbres se forment	15h
Premiers humains	21h30
Age de pierre	23h
Contrôle du feu	23h46
Emergence de l'art	23h50
Début de la première période glaciaire	23h56
Homme de Neandertal	23h57
Début de l'astronomie : pyramides d'Egypte	23h59min50s
Invention de l'alphabet	23h59min51s
Guerre de Troie	23h59min53s
Naissance du Christ	23h59min56s
Renaissance en Europe	23h59min59s

## Minuit moins

Déclaration des droits de l'Homme	4/10 s
Début de la révolution industrielle	2/10 s
Première tentative de communication extraterrestre	6/100 s
Premier homme sur la Lune	4/100 s

Et si tout va bien nous pouvons prédire l'avenir de notre civilisation

## Nouvelle Année

L'humanité occupe le système solaire	1er janvier 00h00min01s
L'humanité occupe toute la Galaxie	2 janvier
Fin du système solaire	1er avril

En conclusion, il se pourrait que nous soyons seuls, comme il se pourrait que plusieurs centaines de civilisations cohabitent en ce moment même dans la Galaxie. Quoiqu'il en soit, ce domaine fait maintenant véritablement partie de la recherche scientifique puisqu'il est expérimentalement vérifiable. Nous pouvons de plus constater la maturation de l'exobiologie au cours des dernières années qui étudie maintenant directement les origines de la vie, l'approfondissement en astrophysique de nos connaissances sur les systèmes planétaires grâce aux découvertes spectaculaires de planètes extrasolaires beaucoup plus nombreuses et diversifiées que prévues. Enfin la colonisation de l'espace va considérablement se développer au cours des prochaines années avec la mise en place de la station spatiale permanente. Quelques millions d'années encore et nous serons présents sur chaque planète de notre Galaxie !

Quels que soient les résultats des tentatives de communication avec d'éventuelles civilisations extraterrestres, nous sommes en train d'assister à la naissance du grand thème de recherche du prochain millénaire au cours duquel les réponses à toutes ces questions seront certainement trouvées.

### Notes

1 - Revue de l'AFAS, 99-3, juillet 1999. Nous remercions la rédaction de la revue pour son autorisation à reproduire cet article dans nos Cahiers.

L'AFAS, association française pour l'avancement des sciences, a été créée en 1872, oeuvre commune de milieux industriels, bancaires, commerciaux et scientifiques où la science est pensée comme facteur de progrès industriel et social. Elle développe ses initiatives scientifiques sur un terrain non académique.

2 - Vidal Madjar A., Il pleut des planètes, 1999, Hachette littérature, Paris : critique dans les "lectures pour la Marquise" de ce numéro.

3 - Cf. l'article de Jean Heidmann dans le CC68 (hiver 1994-95): Seti et la bioastronomie.

4 - Voir l'article de Guy Moreels : les origines de la vie dans l'univers (CC86, été 1999).

## Annexe : Extrait de l'astronomie populaire de Camille Flammarion

Ainsi il est difficile de ne pas voir sur Mars des scènes analogues à celles qui constituent nos paysages terrestres ; ruisseaux courant dans leur lit de cailloux dorés par le soleil : rivières traversant les plaines ou tombant en cataractes au fond des vallées : fleuves descendant lentement à la mer à travers les vastes campagnes. Les rivages maritimes reçoivent là, comme ici, le tribut de canaux aquatiques, et la mer y est tantôt calme, comme un miroir, tantôt agitée par la tempête ; elle y est même bercée, comme ici, du mouvement synchronique des marées causées par deux lunes tournant rapidement dans le ciel.

Ainsi donc, voilà dans l'espace, à quelques millions de lieues d'ici, une terre presque semblable à la nôtre, où tous les éléments de la vie sont réunis aussi bien qu'autour de nous : eau, air, chaleur, lumière, vents, nuages, pluie, ruisseaux, fontaines, vallons, montagnes. Pour compléter la ressemblance, rappelons-nous que les saisons y ont à peu près la même intensité que sur la Terre, et que la durée du jour y est seulement un peu plus longue que la nôtre. C'est là certainement un séjour peu différent de celui que nous habitons.

L'analogie de Mars avec la Terre ne cesse pas lorsqu'on examine cette planète au point de vue des êtres animés qui doivent la peupler. Ses habitants peuvent être considérés comme étant ceux dont la conformation doit se rapprocher le plus de la nôtre. Le philosophe Kant supposait même déjà au siècle dernier qu'ils peuvent être rangés, pour le moral, dans la catégorie des hommes de la Terre : il pensait que les habitants des planètes inférieures, Mercure et Vénus, sont trop matériels pour être raisonnables, et n'ont probablement même pas la responsabilité de leurs actes, et il rangeait les humanités de la Terre et de Mars dans un juste milieu moral, ni absolument grossiers ni absolument spirituels. "Ces deux planètes, écrivait-il, sont placées au milieu de notre système planétaire de façon que l'on puisse supposer sans invraisemblance que leurs habitants possèdent une condition moyenne, dans leur physique comme dans leur moral, entre les deux points extrêmes". Pour peindre la perfection et la félicité dont jouissent les habitants des planètes supérieures, depuis Jupiter jusqu'aux confins du système, Kant cite deux vers de Haller dont voici la traduction : "les astres sont peut-être le séjour d'esprits glorifiés ; de même qu'ici règne le vice, là-haut la vertu est souveraine".

Mais ce sont là des arguments purement spéculatifs. Nous n'avons encore aucune base pour juger de l'état intellectuel des humanités planétaires. Tout ce que nous pouvons penser, c'est que le moral étant naturellement avec le physique, plus la planète est rude et moins la sensibilité doit être grande, de sorte que sans doute les habitants de Mercure et Vénus peuvent être moins "intellectuels" que nous. D'autre part, les humanités progressent avec le temps, et Mars s'étant formé avant la Terre et s'étant refroidi plus vite doit être plus avancé, à tous les points de vue. Il est sans doute arrivé à son apogée, tandis que nous ne sommes encore que des enfants qui jouent sérieusement au cerceau.

### Bibliographie

1 - Audouze J. et Israël G., Le Grand Atlas de l'Astronomie Universalis, 1983, Encyclopedia Universalis, Paris.

2 - Cocconi G. et Morisson P., Searching for interstellar Communications, 1959, Nature, 184, 844.

3 - Crowe M.J., The extraterrestrial Life Debate, 1750-1900, 1986, Cambridge University Press.

4 - Flammarion C., l'Astronomie populaire, 1880, Eds C. Marpon et E. Flammarion.

5 - Gault H. et Millau C. 1998, Gault Millau, Paris.

6 - Goldsmith D. et Owen T., The

Search for life in the Universe, 1980, The Benjamin/Cummings Publishing-Company, Inc., New York.

7 - Hart M.H., The Evolution of the Atmosphere of the Earth, 1978, Icarus, 33, 23.

8 - Hart M.H., An explanation for the absence of Extraterrestrials on Earth, 1975, Q.J.R. Astron Soc., 16, 128.

9 - Major M. et Queloz D., A Jupiter-mass companion to a Solar-type Star, 1995, Nature, 378, 355.

10 - Rood R et Trefil J., L'Univers : Sommes-nous Seuls ?, 1985, Ed.P. Belfond.

11 - Sagan C., The dragons of Eden, 1977, Random House Inc.

12 - Sagan C., et Schklovsky, Intelligent Life in the Universe, 1968, Holden Day, San Francisco.

### Erratum

Une erreur a échappé à nos relectures dans l'article de fond du n° 88 : la matière noire non baryonique.

P.3, à la fin de la troisième colonne il faut remplacer neutron par neutrino : lors des annihilations avec leurs antiparticules il y a émission de **neutrinos** énergétiques.



# Un calendrier mural

Florence et Didier Raboud

Florence Raboud<sup>1</sup> de l'école de Cartigny (canton de Genève) et Didier Raboud<sup>2</sup> de l'Observatoire de Genève nous relatent une expérience astronomique qui a la caractéristique et l'intérêt d'être menée sur le long terme i.e. plusieurs années. Chaque jour les 70 élèves, âgés de 5 à 12 ans construisent leur calendrier en mettant en commun ce qu'ils observent (Soleil, nuages, Lune) et en le dessinant. Ces activités sont la base de discussions qui aboutissent à la construction du savoir par les enfants.

## Introduction

Depuis plus d'une année la Liaison Enseignants - Astronomes (LEA), financée par la Fondation Wright, est active dans la promotion de l'enseignement de l'astronomie dans les écoles suisses. Un tel engagement est justifié par l'absence patente d'enseignement de cette science, en dépit des possibilités importantes qu'elle offre pour l'initiation des enfants à la méthode scientifique.

Diverses expériences (décrites à l'AG 1999 du CLEA : cf compte-rendu dans ce numéro) nous ont convaincus que des activités astronomiques réalisées sous la forme de projets de courtes durées étaient des initiations idéales à l'astronomie, des "révélateurs" d'intérêts, voire même de passions. Elles devaient cependant impérativement être prolongées par des activités continues, réparties sur plusieurs mois, pour être réellement pédagogiquement efficaces. En effet, pour que des enfants découvrent par eux-mêmes la méthode scientifique, pour qu'ils construisent un savoir par l'expérimentation, par la discussion, par le débat, il est absolument nécessaire de pouvoir disposer de temps.

L'expérience décrite dans la suite de cet article est l'exemple typique d'une activité menée sur le long terme, à savoir plusieurs années. Peu de notions astronomiques sont abordées, mais elles sont toutes découvertes, analysées et discutées par les enfants eux-mêmes. Une telle approche de l'apprentissage nous semble être garante d'une assimilation optimale des sujets traités (jours / nuits, saisons, phases de la Lune), tout en permettant aux élèves de véritablement "faire de la science".

## L'école de Cartigny

L'école de Cartigny est une école de campagne de taille modeste. Elle comprend une classe de 26 "petits" (4-6 ans), une classe de 20 "moyens" (7-8 ans) et une classe de 24 "grands" (9-12 ans). Ces 70 élèves sont encadrés par trois enseignants à temps plein et par une enseignante à mi-temps, à disposition de l'ensemble des enfants. Cette enseignante est à l'origine de l'activité astronomique et c'est elle qui l'anime pour toute l'école.

## Activités astronomiques autour d'un calendrier mural

Les activités astronomiques réalisées à Cartigny se font par l'ensemble des élèves de l'école et sont toutes articulées autour d'un calendrier mural. Les 70 enfants sont donc réunis chaque jour d'école à 10h 00, après la récréation du matin, devant le calendrier situé dans le couloir principal. Cette réunion est animée par un des élèves de l'école. Il s'agit en général de celui qui a son anniversaire le jour même ou dont la date est proche.

Le calendrier mural se présente comme un immense panneau où sont affichés les jours de la semaine en colonnes, au-dessus desquels sont indiqués l'année et le mois en cours. La saison y est également mentionnée. Ce panneau comprend 5 lignes, donc 35 cases, et couvre ainsi la durée d'un mois.

### Le jour d'aujourd'hui

La première activité réalisée par l'élève-animateur consiste à compléter le calendrier pour le jour en cours. Il dit tout haut la date (par exemple : jeudi 28 octobre) ainsi que la saison (automne), tout en collant une carte indiquant le chiffre correspondant (28) dans la bonne case du calendrier. Après un week-end, l'élève est évidemment amené à compléter trois cases.

Les cartes numérotées sont de formes et de couleurs différentes mais elles suivent un cycle bien précis. Les élèves sont donc amenés à prédire la présentation de la carte du jour. Plusieurs activités sur les rythmes peuvent ainsi être abordées à partir de cet exercice. En particulier, les élèves peuvent proposer de nouvelles figures et de nouveaux cycles pour les cartes numérotées du calendrier.

### Nombre de jours d'école

L'élève-animateur doit ensuite mettre une paille représentant le jour d'école dans un récipient. Il note alors sur

une frise le résultat obtenu :

une paille = premier jour d'école = 1  
deux pailles = deuxième jour d'école = 2

Au bout de 10 jours, il y a 10 pailles que l'on réunit par un élastique et qui deviennent 1 dizaine. Cette dizaine est déposée dans un second récipient, à gauche du premier. La notation du chiffre 10 comme étant 1 dizaine et 0 unité prend alors véritablement sens.

Cette activité de comptage est liée à une prédiction qu'avaient fait les élèves le premier jour d'école. On leur avait alors demandé d'estimer le nombre de jours qu'il allait y avoir jusqu'à la fin de l'année scolaire. Les hypothèses formulées ont été précieusement conservées et seront ressorties à la fin du mois de juin 2000 pour être confrontées à l'"observation" réalisée durant l'année.

### Les saisons

#### Le temps qu'il fait

Une seconde frise est utilisée pour représenter, par des dessins, le temps du jour. La température est aussi relevée et inscrite par les élèves. L'évolution de cette frise au cours de l'année, ainsi que les similitudes que l'on y retrouvera d'année en année, permet aux élèves d'appréhender naturellement, par l'observation directe, la notion des saisons.

Un autre but de cette frise est d'en tirer des "statistiques", et des représentations sous forme de graphiques pour les élèves les plus âgés, qui sont confrontés à l'appréciation subjective du "temps qu'il a fait" au cours de certaines périodes de l'année scolaire.

#### Le gnomon

Le gnomon de l'école est un simple bâton fixé sur un socle, lui-même collé sur un grand carton. Chaque jour, au cours de l'activité "calendrier mural", quelques élèves vont relever l'ombre de ce gnomon en un lieu bien défini de la cour de l'école. Les enfants ont rapide-

ment constaté que le carton dimensionné en été n'était pas suffisamment grand pour y reporter la longueur de l'ombre du gnomon en hiver !

Cette expérience vivante est progressivement mise en relation avec la précédente, afin de construire un savoir global sur la notion des saisons.

### Les phases de la Lune

#### Observations

Une troisième frise est composée par les phases de la Lune.

Le premier jour d'école, la Lune, alors en phase décroissante, était bien visible dans le ciel à 10h 00 du matin. Il fut ainsi aisé pour les élèves de la dessiner et de la reporter immédiatement sur le calendrier. Les jours qui suivirent furent l'occasion de nombreuses discussions. On ne voyait plus la Lune depuis l'école ! Certains élèves incriminèrent les nuages, mais une fois le beau temps revenu, la Lune n'était toujours pas au rendez-vous... Puis des enfants la redécouvrirent un soir et la dessinèrent, de tête, le lendemain matin. Les représentations n'étaient pas toutes identiques et cela obligea les élèves à être plus rigoureux dans leurs observations.

La frise des phases de la Lune est ainsi maintenant ornée de dizaines de dessins réalisés par les enfants à leur domicile, le soir. Ils représentent donc naturellement en majorité des Lunes croissantes ou des Pleines Lunes.

#### De l'observation à l'explication

La collecte des données, une fois bien avancée, est complétée par un travail de prévisions (formulations d'hypothèses) et de tentatives d'explications. Les élèves les plus âgés essayent, à partir du matériel collecté, de reproduire le cycle lunaire complet. Ce travail impose une réflexion puisque les observations ne sont réalisées que sur les jours d'école. La frise des phases de la Lune est donc incomplète et les enfants sont contraints de formuler des hypothèses qu'ils peuvent facilement tester, puisque les observations

se poursuivent régulièrement.

Une fois le cycle lunaire bien décrit, les élèves peuvent tenter de l'expliquer. Des expérimentations avec des boules de sagex et des lampes leur permettent de tester leurs diverses hypothèses. Ce travail, qui implique de nombreux échanges, discussions et débats est loin d'être terminé.

### De plus, ...

L'école tire parti du séjour de plusieurs mois d'un de ses élèves en Afrique du Sud pour enrichir l'expérience du calendrier mural. Des contacts par courrier électronique sont ainsi régulièrement entretenus avec l'hémisphère sud et les élèves de Cartigny sont amenés à confronter leurs observations à celles que réalise leur camarade à l'autre bout du monde.

En parallèle à toutes ces activités

d'astronomie fondamentale, l'école organise des soirées d'observations afin de faire découvrir aux enfants les autres corps peuplant la voûte céleste. Ces soirées permettent d'aborder en classes des sujets d'astronomie plus généraux : planètes, constellations, ...

### Conclusions

L'expérience astronomique réalisée à l'école de Cartigny est focalisée sur un petit nombre de thèmes fondamentaux (le jour et la nuit, les saisons et les phases de la Lune) traités sur plusieurs années. L'intérêt évident de cette démarche réside dans la possibilité qu'elle offre de faire construire aux élèves un savoir par un véritable travail d'observation, de formulation d'hypothèses, de discussions et de tests. Il ne s'agit donc pas seulement de faire acquérir des notions aux enfants, mais

aussi de les faire vivre la science afin de s'y familiariser et de mieux en comprendre la démarche.

Le succès d'une telle approche est perceptible dans les couloirs de l'école : les nombreux dessins, ornant les frises, que les élèves réalisent à la maison démontrent à quel point ils se sentent concernés par cette activité. De plus, assister à une séance "calendrier mural", après la récréation du matin, pour y écouter les "débat astronomiques" entre 70 élèves d'âges compris entre 5 et 12 ans ne peut que nous conforter à poursuivre sur cette voie.

#### Notes :

1- Ecole de Cartigny, 5 rue du Trablé, 1236 Cartigny.

2 - LEA, Observatoire de Genève, 1290 Sauverny.



## A propos de l'année zéro

Rendons à César... A propos de l'année zéro, on trouve fréquemment l'erreur suivante, recopiée d'un livre à l'autre : *"C'est depuis J.D. Cassini qu'on écrit de façon négative les années antérieures à notre ère"*.

S'il s'agit bien d'un Cassini, ce n'est pas le père de la longue dynastie (Jean-Dominique, 1625-1712) mais le fils, Jacques, dit aussi Cassini II (1677-1756), lui-même père de César-François Cassini (1714-1784) qui fut un illustre cartographe de la France.

Voici ce qu'écrivait Jacques Cassini en 1740 dans ses tables astronomiques (p. 5) où il propose de compter de façon algébrique les années antérieures à l'an 1 de notre ère (l'orthographe du texte est respectée) :

*"L'année 0 est celle dans laquelle on suppose qu'est né Jésus-Christ, que plusieurs Chronologistes marquent 1 avant la naissance de J.C. & que nous avons marqué 0, afin que la somme des années avant et après J.C. donne l'intervalle qui est entre ces années, & que les nombres divisibles par 4 marquent les années bissextiles tant avant qu'après Jésus-Christ"*.

Ainsi les astronomes qualifient aujourd'hui d'année zéro celle qui précède l'an 1, et comptent négativement toutes les années antérieures. Par exemple la bataille d'Alésia a eu lieu dans l'année 52 avant Jésus-Christ pour les historiens et en -51 pour les astronomes. L'intérêt du procédé est double : d'une part la règle de divisibilité par 4 pour les années bissextiles s'applique effectivement pour ces années "négatives" 0, - 4, - 8, ... (ce qui n'est pas le cas avec la notation "1 an avant", "5 ans avant", "9 ans avant"...); d'autre part, un intervalle s'étendant de part et d'autre de l'instant origine se calcule facilement: il s'écoule bien 100 ans entre les années - 51 et 49 alors que ce résultat n'est pas immédiat quand on le calcule entre l'an dit "52 avant" et l'an "49 après".

Pour les amateurs de calendriers, je signale le très bon livre de Jean LEFORT (de l'IREM de Strasbourg) *La saga des calendriers*, publié aux éditions Belin en 1998 (Bibliothèque Pour la Science).

Michel Toulmonde



# Les travaux et les jours

Charles Henri Eyraud

Charles Henri Eyraud nous propose un exercice qu'il a composé pour des collègues de Lettres venant en formation continue à l'IUFM de Lyon. Il s'est inspiré d'un texte d'Hésiode sur les Pléiades et nous propose une carte du ciel de cette époque (650 avant notre ère) tenant compte de la précession.

## Expliquez ces vers du poète Hésiode.

"Au lever des Pléiades, filles d'Atlas, commencez la moisson, les semailles à leur coucher. Elles restent on le sait quarante jours et quarante nuits invisibles ; mais l'année poursuivant sa course elles se mettent à reparaître quand on aiguise le fer".  
"Les travaux et les jours", vers 383 à 388.

## Avec une carte du ciel (tenant compte de la précession).

1 - Trouvez les dates des équinoxes dans le calendrier julien.

2 - Période d'invisibilité :

- Vérifiez que Sirius est invisible entre son coucher vespéral et son lever matinal.

- Conclure pour les Pléiades. Peut-on généraliser cette conclusion?

3 - Trouvez la date et l'heure du Lever matinal et du Coucher matinal, du Lever vespéral et du Coucher vespéral des Pléiades.

4 - À quel Lever et à quel Coucher fait référence Hésiode ? Que pensez-vous des dates des moissons autour de la Méditerranée? (En vous aidant des indications ci-dessous).

- Exode 9 v 30 à 35 (Après la grêle, la septième plaie d'Égypte avant le départ que commémore Pâque à la Pleine Lune du mois de Nisan. "mois des Épis", pre-

mier mois de l'année) : Le lin et l'orge étaient détruits car l'orge était en épis et le lin était en fleur ; mais le froment et l'épeautre étaient saufs parce qu'ils sont tardifs.

- Voir également les textes instituant chez les Hébreux la fête de Pâque et la fête des Semaines (Pentecôte).

Exode 12 v 15 à 17 ; Exode 23 v 15 ; Exode 34 v 18 et 22 ; Lévitique 23 v 5 et v 15 ; Deutéronome 16 v 9.

- L'orge, la plus ancienne des céréales connues, pousse encore à l'état sauvage dans les steppes qui bordent la mer Caspienne. Sa culture s'est développée avec celle du blé dès la plus haute antiquité au Proche Orient, en Inde et en Europe. C'est la plus tolérante des céréales, son cycle végétatif de moins de trois mois du semis à la récolte lui permettant de supporter pauvreté du sol, aléas climatiques (sécheresse, humidité, froid, chaleur), altitude (jusqu'à 4 500 m dans l'Himalaya).

## Avec un logiciel d'astronomie.

### Le logiciel Planétaire sur Apple tient compte de la précession.

1 - Dans le menu "Recherche de proximité", trouvez les dates des équinoxes dans le calendrier julien.

2 - Dans le menu "Aspect du ciel", trouvez la date et l'heure du Lever matinal

et du Coucher Matinal, du Lever vespéral et du Coucher vespéral des Pléiades (en T.U. et en heure solaire pour comparer aux résultats donnés avec la carte du ciel).

3 - Trouvez par tâtonnement la date pour laquelle le "Lever matinal" des Pléiades et leur "Coucher vespéral" ont lieu quand le Soleil est à une hauteur h de  $-15^\circ$  sous l'horizon.

### Solution avec la carte du ciel ci-jointe.

1 - Les dates des équinoxes sont données par l'intersection Écliptique-Équateur : 28 mars et 30 septembre.

2 - Périodes d'invisibilité.

- Sirius est invisible entre le 12 mai (Coucher vespéral) et le 14 juillet (Lever matinal).

- Une étoile intérieure au cercle écliptique n'a pas de période d'invisibilité: Les Pléiades sont dans ce cas.

3 - Levers et couchers exacts (On peut aussi trouver l'équation du temps  $E = \alpha_{\text{moyen}} - \alpha_{\text{vrai}}$ ).

- Lever matinal le 14 avril à  $T_{\text{sol}} = 5\text{h } 35$  ;  $E = -0,3\text{ min}$ .

- Coucher vespéral le 22 avril à  $T_{\text{sol}} = 18\text{h } 30$  ;  $E = -2,6\text{ min}$ .

- Lever vespéral le 17 octobre à  $T_{\text{sol}} = 17\text{h } 35$  ;  $E = -10,7\text{ min}$ .

- Coucher matinal le 24 octobre à  $T_{\text{sol}} = 6\text{h } 35$  ;  $E = -11,8\text{ min}$ .

Conclusion : Hésiode fait référence au Lever matinal pour la moisson. Il peut faire référence au Coucher matinal pour des semailles d'automne ou au Coucher vespéral pour des semailles de printemps (dont la date réelle est donnée avec le logiciel; ceci expliquerait pourquoi Hésiode mentionne une période d'invisibilité de 40 jours qui paraît néanmoins très courte pour le cycle végétatif de l'orge).

### Solution avec le logiciel Planétaire.

1 - Date des Équinoxes en -651 (-651 notation des astronomes = an 650 avant J.C. des historiens)

- La recherche de proximité du Soleil avec le point de coordonnées ( $\alpha = 0\text{ h}$ ,  $\delta = 0^\circ$ ) donne comme dates

d'équinoxes le samedi 28 mars à 13h 18 et le mercredi 30 septembre à 15h 23.

- Le bureau des Longitudes donne les dates d'équinoxes le 27 mars - 651 à 22 h 47 et le 30 septembre - 651 à 1h 22.

2 - Pour trouver l'heure T.U. avec l'heure donnée par la carte : la longitude d'Athènes est  $L = -23^\circ 44'$  soit  $-95\text{ min} = -1\text{h } 35\text{ min}$ .

$H_{\text{Solaire Athènes}} =$

$H_{\text{T.U.}} + 1\text{h } 35 - E.$

- Prendre pour valeur de E celle donnée par l'heure de culmination du soleil à Greenwich ou établir les valeurs à partir des formules (Jean Meeus).

3 - Levers et couchers exacts à Athènes ( $23^\circ 44'$  Est,  $38^\circ$  Nord).

- Lever matinal vers le 14 avril à 4 h 05 T.U. ( $E = 0\text{ min}$ ) ;  $H_{\text{sol}} = 5\text{h } 40$ .

- Coucher vespéral vers le 22 avril à 16h 50 ( $E = -3\text{ min}$ ) ;  $H_{\text{sol}} = 18\text{h } 28$ .

- Lever vespéral vers le 16 oct. à 15h 53 T.U. ( $E = -12\text{ min}$ ) ;  $H_{\text{sol}} = 17\text{h } 40$ .

- Coucher matinal vers le 25 oct. à 4h 43 T.U. ( $E = -13\text{ min}$ ) ;  $H_{\text{sol}} = 6\text{h } 31$ .

4 - Levers et couchers lorsque le soleil est à la hauteur de  $-15^\circ$  sous l'horizon.

- Lever matinal : 17 mai à 1h 55 T.U.

$E = -9\text{ min}$ .  $H_{\text{Levers Soleil}} = 3\text{h } 18$ .

- Coucher vespéral : 7 avril à 17h 50 T.U.  $E = +3\text{ min}$ .

$H_{\text{Couchers Soleil}} = 16\text{h } 38$ .

- 40 jours environ séparent ces deux dates. Il s'agirait donc du semis de l'orge de printemps et de sa moisson vers Pâque deux à trois mois plus tard (40 jours paraît très court ...).

- L'idéal serait d'avoir un astrolabe et d'utiliser le cercle crépusculaire de hauteur  $-12^\circ$  ou  $-18^\circ$ .

### Annexe : Moissons dans la Bible.

1 - Institution de la Pâque.

- Exode 12 v 15 à 17 : Sept jours durant vous mangerez des pains sans levain... Le premier jour, ainsi que le septième, vous aurez une sainte assemblée... Vous observerez la fête des Azymes, car c'est ce jour-là que j'aurai fait sortir d'Égypte vos armées. Le premier mois, depuis le soir du quatorzième jour jusqu'au soir du

vingt et unième jour, vous mangerez des pains sans levain.

- Exode 23 v 15 (et Exode 34 v 18) : Tu observeras la fête des Azymes : pendant sept jours au mois des épis, tu mangeras des pains sans levain (c'est en ce mois que tu es sorti d'Égypte).

- Lévitique 23 v 5 : Le premier mois, le quatorzième jour du mois, au crépuscule, ce sera la Pâque du Seigneur. ...Quand vous aurez fait la moisson vous apporterez au prêtre une gerbe comme prémices de votre moisson. Il balancera cette gerbe devant le Seigneur pour qu'il vous soit favorable.

2 - Institution de la Fête des semaines (Shavouot qui deviendra la fête Chrétienne de Pentecôte).

- Deutéronome 16 v 9 : Tu compteras sept semaines à partir du moment où tu commenceras à mettre la faucille à la moisson. Tu célébreras alors la fête des semaines en l'honneur du Seigneur ton Dieu en présentant de ta main l'offrande volontaire que tu mesureras selon les bénédictions dont t'aura gratifié le Seigneur ton Dieu.

- Exode 34 v 22 : Tu célébreras la fête des semaines au temps des prémices de la moisson du froment.

- Lévitique 23 v 15 : A partir du lendemain du sabbat où vous aurez apporté la gerbe pour être balancée vous compterez sept semaines entières. Vous compterez cinquante jours jusqu'au lendemain du septième sabbat et vous présenterez alors une nouvelle offrande: deux pains faits de deux dixièmes de fleur de farine et cuits avec du levain.

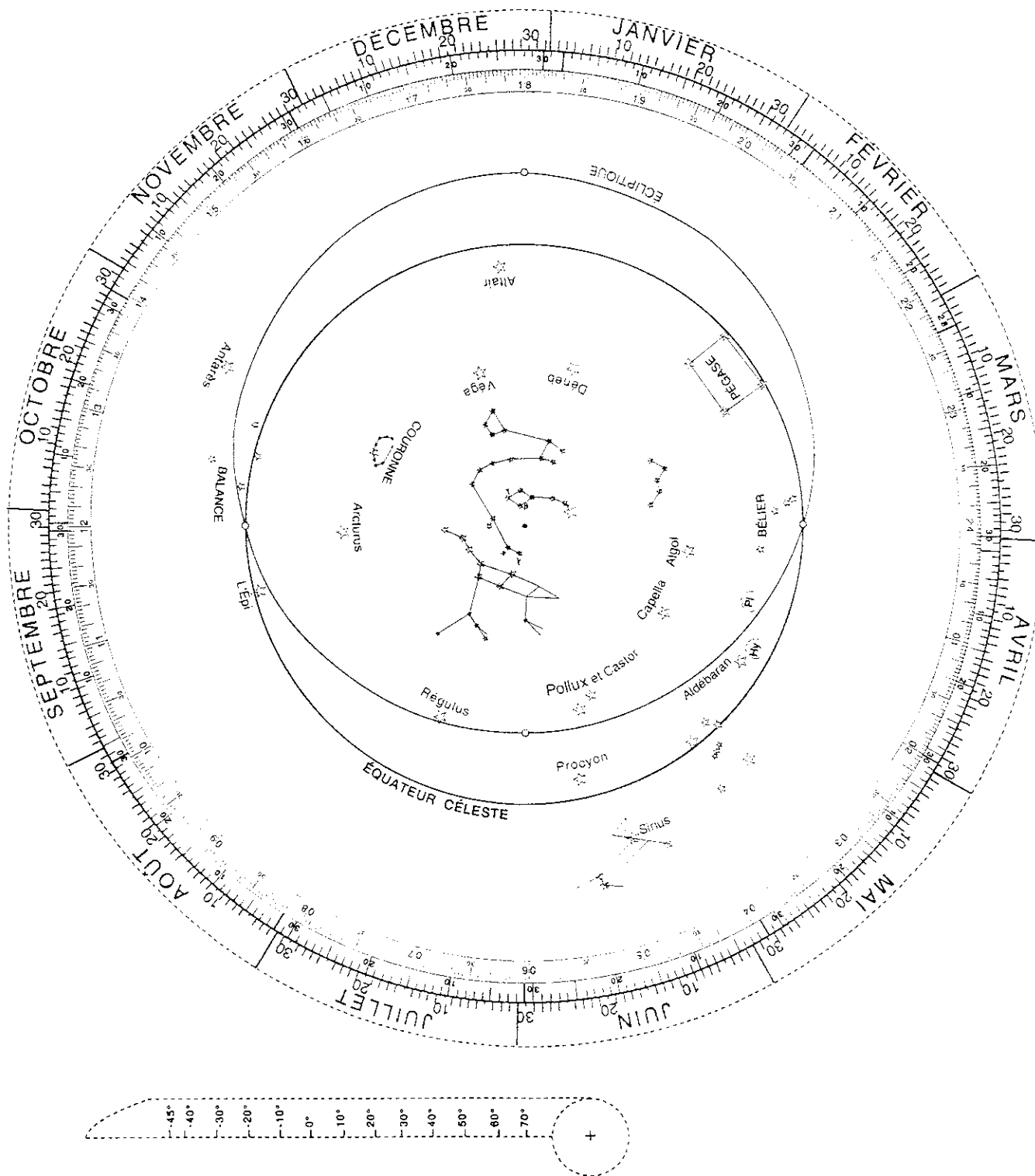
3 - "Le nombre quarante joue dans un grand nombre de cultures, un rôle déterminant pour la pratique des rites mortuaires et du culte des ancêtres. c'est le nombre de jours considéré comme indispensable pour que la dépouille, débarassée de tous liens avec le monde des vivants, accepte de partir définitivement vers l'au delà... Dans le monde balkanique, le nombre quarante est particulièrement significatif dans le cadre des travaux agricoles. "Mange quarante, bois quarante et plante quarante" recommande un dicton populaire.

D'après Fêtes en Europe, Y. de Sike, BORDAS,

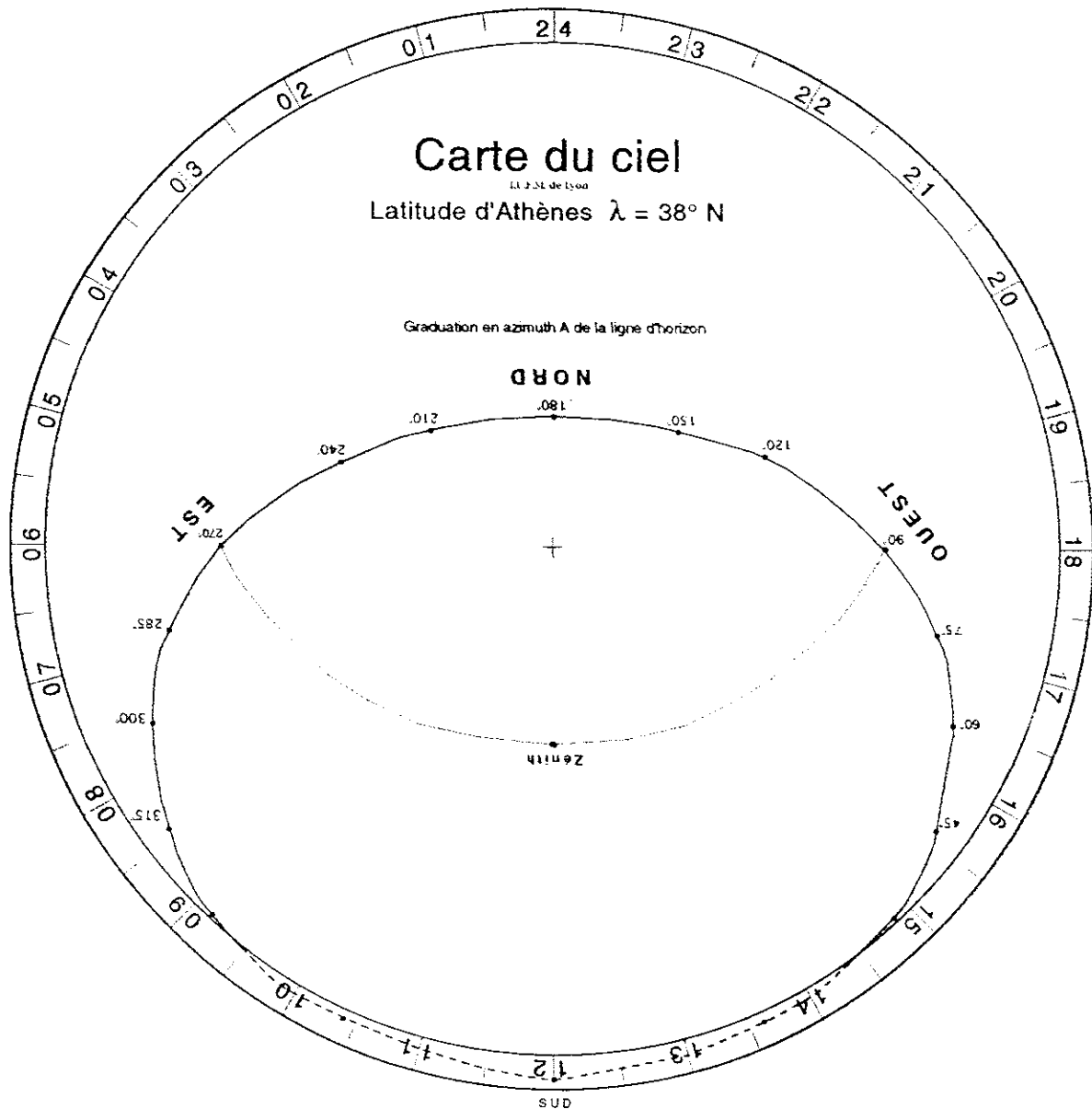
# Carte céleste à l'époque d'Hésiode (vers - 650 avant J.C.)

## Graduation de l'intérieur vers l'extérieur

- 1) Ascension droite  $\alpha$  de 0h à 24h
- 2) Position du soleil vrai dans le calendrier julien
- 3) Graduation permettant de trouver E (équation du temps)







**MODE D'EMPLOI:** Faire coïncider le jour J avec le temps solaire du lieu d'observation

Le T.U. (Temps Universel) représente le temps solaire moyen de Greenwich

La longitude d'Athènes est  $23^\circ 45'$  Est

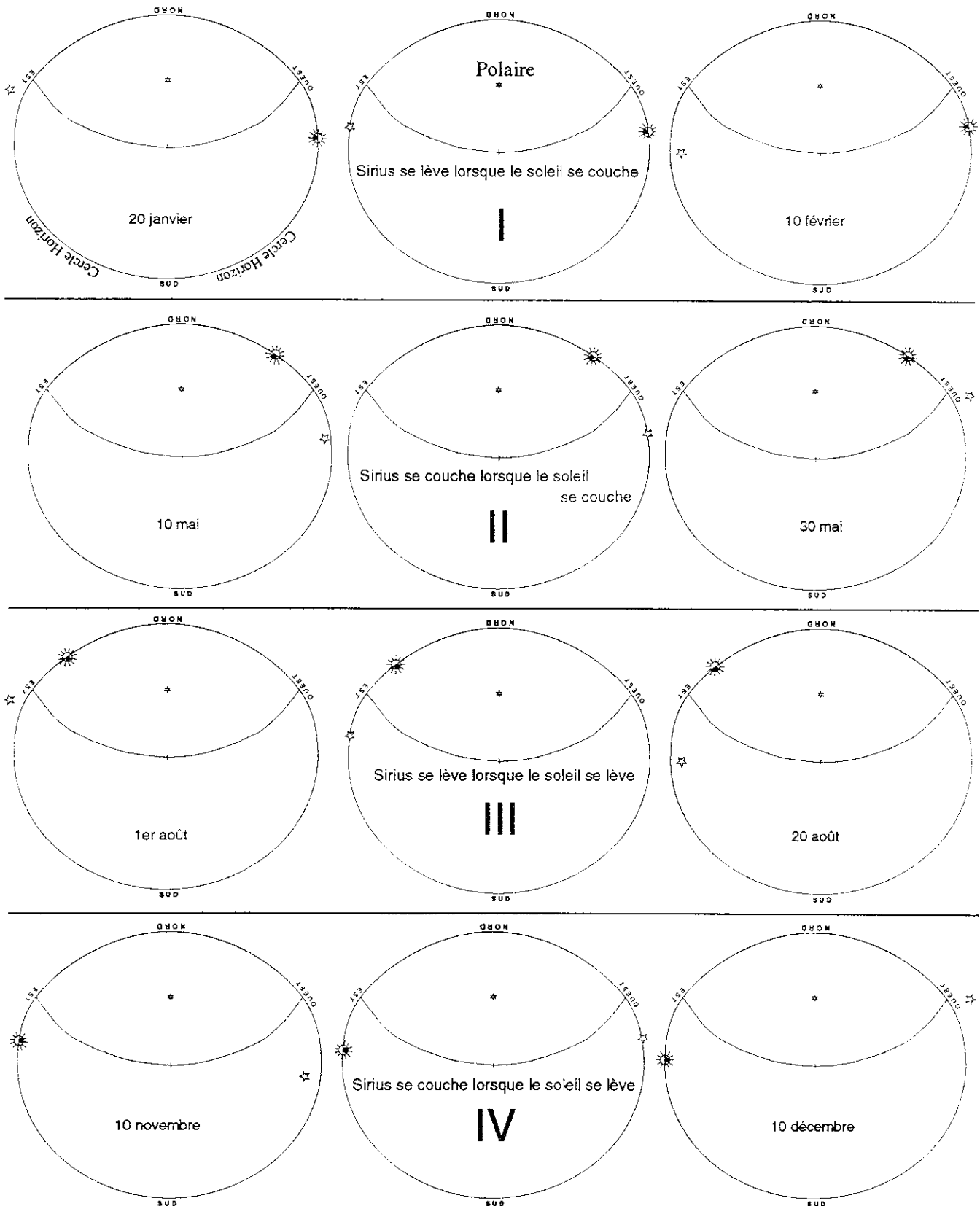
On passe du Temps Universel,  $t_{T.U.}$ , au temps solaire d'Athènes,  $t_{solA}$ , par

$$t_{solA} = t_{T.U.} + 1\text{h } 35\text{mn} - E$$

## Annexe : Levers et couchers héliques de Sirius (époque actuelle).

En vous aidant d'une carte du ciel mobile de l'époque actuelle, calculée pour la latitude  $\lambda = 45^\circ$ , trouver les dates des phénomènes :

I (Lever vespéral), II (Coucher vespéral), III (Lever matinal) IV (Coucher matinal). Commenter.





# L'astronomie dans les programmes de SVT de seconde

Annie Pincaut

Annie Pincaut, professeur de SVT, a commencé cette année à expérimenter les nouveaux programmes de seconde, applicables à la rentrée 2000, et nous présente son travail.

## Première partie : La Terre est une planète du système solaire.

### Textes officiels, notions et contenus.

Le Soleil est une étoile autour de laquelle tournent différents objets (planètes, astéroïdes, comètes). Ils sont de taille, composition chimique et activités internes variées. Certaines planètes ont des enveloppes externes gazeuses ou liquides.

Les météorites et les comètes sont des témoins de l'origine du système solaire.

L'énergie solaire reçue par les planètes varie en fonction de la distance au Soleil.

La répartition en latitude des climats et l'alternance des saisons sont des conséquences de la sphéricité de la Terre, et de sa rotation autour d'un axe incliné par rapport au plan de révolution autour du Soleil.

### Travail réalisé effectivement avec les élèves de Seconde 3 et 9 du lycée Camille Claudel de Troyes.

**Sujet n° 1** : La place de la Terre dans le système solaire ; travaux pratiques n° 1.

### 1 - Présentation du système solaire.

- Document utilisé : video, la Cité des Sciences, exploration du Système solaire. (visionné en partie).

- Travail demandé aux élèves : faire un tableau comparatif des planètes présentées.

- notions dégagées :

1- La Terre est une planète du système solaire.

2 - Planètes telluriques et planètes géantes gazeuses.

3 - Certaines planètes ont des enveloppes externes gazeuses ou liquides.

4 - Les grosses planètes telluriques présentent une activité interne.

### 2 - La place de la Terre dans le système solaire.

- Document utilisé : photocopie de la page 27 du livre "comprendre et enseigner la planète Terre" de Caron, tableau comparatif de planétologie.

- Travail demandé aux élèves :

1 - apprendre l'ordre des planètes, en utilisant un moyen mnémotechnique.

2 - apprendre qu'une unité astronomique égale 150 000 000 km, et correspond à la distance moyenne entre la Terre et le

Planète	distance en ua	distance relative en cm	rayon équatorial en km	rayon relatif en cm	diamètre relatif
Mercur	0,387		2 439		
Vénus	0,723		6 052		
<b>Terre</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>6 378</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Mars	1,523		3 397		
Jupiter	5,202		71 998		
Saturne	9,538		60 000		
Uranus	19,181		26 145		
Neptune	30,057		24 300		
Pluton	39,44		1 200		

Rapport des distances des planètes	raison
Vénus/Mercur	1,8
Terre/ Vénus	1,4
Mars /Terre	1,5
Jupiter/Mars	3,4
Saturne/Jupiter	1,8
Uranus /Saturne	2
Neptune/Uranus	1,6
Pluton /Neptune	1,3

Soleil. Les planètes ont donc différentes tailles et sont situées plus ou moins loin du Soleil.

- Manipulation, maquette du système solaire.

Utilisation d'une échelle.

Si la Terre avait 1 cm de rayon, quelle serait la taille relative des autres planètes ?

Si la Terre était située à 20 cm du Soleil, à quelles distances relatives seraient situées les autres planètes ?

Ensuite les élèves déploient un décimètre à travers la classe, le porte manteaux symbolise le Soleil, chaque binôme est responsable d'une planète, et cherche dans une caisse contenant des boules de différentes taille celle dont la mesure s'approche de la taille relative de la planète dont il est responsable, ensuite les planètes sont accrochées sur le décimètre à l'aide de pinces de laboratoire. (Il se passe alors une circulation horizontale de l'information, les élèves se corrigeant les uns les autres, car la méprise d'un groupe gêne les autres groupes).

Quand les planètes sont accrochées dans le plan de l'écliptique (plan des éclipses), chaque groupe présente sa planète, aspect, température... en utilisant les données du tableau de planétologie.

- Notions dégagées :

Les planètes ayant une grande masse ont une forte gravité, une gravité suffisante permet à la planète d'avoir une atmosphère et donc un effet de serre.

- Problème posé : En regardant la maquette les planètes ne semblent pas disposées de façon aléatoire, existe-t-il

une formule mathématique reliant entre-elles les places des planètes ?

La Loi de Titius Bode

D'après une loi empirique (non scientifique), la suite des distances des planètes au Soleil est une suite géométrique. Une suite géométrique est une suite de nombres dans laquelle le quotient de chaque terme par le terme précédent est une constante appelée raison. Vérifions la pertinence de cette loi<sup>1</sup>.

Résultat :

La loi semble à peu près vérifiée entre les différentes planètes, mais pas entre Mars et Jupiter.

Manque-t-il une planète à cet endroit ?

On trouve entre Mars et Jupiter la ceinture d'astéroïdes.

C'est un témoin de l'histoire du système solaire, la force de gravité de Jupiter, la géante, a empêché la formation d'une planète à cet endroit.

Histoire du système solaire : un disque de poussières en rotation, agrégation de ces poussières, formation des planètes, sauf entre Mars et Jupiter.

La ceinture d'astéroïdes, (images de la vidéo) et les comètes (images de la vidéo) sont les témoins de l'histoire du système solaire, le Soleil et toutes les planètes ont le même âge, 4,6 milliards d'années.

Les météorites et les comètes sont des témoins de l'origine du système solaire.

Sujet n° 2 : Climats et saisons. Travaux pratiques n° 2 : Climats.

Problème n° 1 : certaines planètes sont plus froides que d'autres, pourquoi ?

Hypothèse : elles ne reçoivent pas la même quantité d'énergie lumineuse

Expérience : mesurons la quantité d'énergie lumineuse reçue par un luxmètre (symbolisant les planètes) placé dans une salle obscure à différentes distances de la lampe du rétroprojecteur (symbolisant le Soleil).

Matériel, un luxmètre, un rétroprojecteur et un décimètre.

Les élèves mesurent à tour de rôle la valeur de l'énergie lumineuse reçue et écrivent les résultats sur le tableau.

Exemple de résultats relevés par une classe :

Distance en m	quantité de lumière
7,7	97
7,2	100
6,7	105
6	120
5	170
4	300
3	420
2	800
1	>2000

Résultat : plus la lampe est éloignée, moins le luxmètre reçoit de lumière.

Mais il est possible d'être plus précis, traçons la courbe représentant la quantité de lumière reçue en fonction de la distance. On trouve une courbe, que les élèves n'ont pas encore étudiée en début de seconde.

Je leur demande de vérifier si cette courbe ressemble à une courbe d'équation  $y = 1/x^2$ , en traçant simplement cette courbe à l'aide de quelques valeurs numériques.

Résultat, c'est bien une courbe d'équation  $y = 1/x^2$ .

Conclusion : La quantité de lumière reçue est inversement proportionnelle au carré de la distance<sup>2</sup>.

Ceci explique pourquoi les planètes éloignées reçoivent moins de lumière que les planètes proches du Soleil.

L'énergie solaire reçue par les planètes varie en fonction de la distance au Soleil.

Problème n° 2 : tous les points sur Terre sont situés à la même distance du Soleil, alors quelle est donc la cause des climats ?

Hypothèse : le climat dépend de la latitude.

Expérience : construction de géométrie  
La notion de Constante solaire<sup>3</sup> n'est pas dans le programme de seconde, et je le regrette, ce serait bien plus simple d'introduire cette définition puis d'expliquer les climats.

Objectif : représentation géométrique de la composante verticale des rayons solaires ; la constante solaire.

Les élèves dessinent un cercle de 6 cm de rayon. Je trace au tableau un cercle à l'aide d'un compas et le diamètre horizontal qui représente l'écliptique. Je trace un diamètre, incliné de  $23,5^\circ$  par rapport à ce diamètre, qui représente l'Equateur. A l'aide d'une équerre je trace l'axe des pôles. Ensuite je définis les cercles polaires et les tropiques et les trace. J'écris le titre : la Terre, le 22 juin. Je fais arriver à la surface du sol des vecteurs égaux qui représentent les rayons du Soleil. La quantité d'énergie solaire qui arrive au sol est la norme de la composante verticale de ce vecteur.

Je fais tracer le vecteur "rayon du Soleil", dont la norme est la constante solaire ainsi que la surface du sol, et la composante verticale du précédent vecteur, ceci au niveau des pôles, des cercles polaires, des tropiques et de l'équateur.

Les élèves sur leur copie tracent un vecteur représentant un rayon de Soleil de norme 1cm ; ensuite en mesurant la norme de la composante sur la verticale locale de ce vecteur ils trouvent directement la proportion d'énergie solaire qui arrive au niveau du sol.

Résultats d'un élève :

Lieu	% d'énergie solaire reçue à midi
Pôle Nord	4
Cercle polaire Arctique	60
Tropique du Cancer	100
Equateur	70
Tropique du Capricorne	60
Cercle polaire Antarctique	0

Conclusion : la quantité de chaleur reçue dépend de la latitude, donc le climat dépend de la latitude<sup>4</sup>.

La répartition en latitude des climats est la conséquence de la sphéricité de la Terre.

**Travaux pratiques n° 3 :  
la cause des saisons.  
T.P. calendrier des postes.**

Matériel : la photocopie de la page du calendrier des postes qui indique l'heure du lever et de coucher du soleil, en temps universel, tout au long de l'année.

Problème posé : quelle est la cause des saisons ?

Hypothèse : les différences de température seraient dues à la variation de la durée relative du jour et de la nuit.

Manipulation : graphique de la variation de l'heure du lever et du coucher du soleil par décade. La zone nuit est ombrée.

Résultat : La durée du jour varie.

C'est une courbe sinusoïdale. Retrouvons quelques points remarquables, par la géométrie.

Aux équinoxes, la nuit et le jour durent 12 h.

Aux solstices, le Soleil semble s'arrêter de monter ou de descendre dans le ciel. (Cette notion est familière aux élèves car j'ai transformé en quelque sorte la classe en cadran solaire, toutes les semaines, quand l'ensoleillement le per-

met, les élèves posent un carton percé d'un trou sur un coin d'une fenêtre précise et repèrent par une gommette, indiquant l'heure et le jour du relevé, la place de la tache de lumière).

Les saisons sont indiquées sur le graphique.

Conclusion : la cause des différences de températures des saisons est la variation de la durée de l'ensoleillement.

Nouveau problème : pourquoi cette durée varie ?

Hypothèse : ce phénomène est dû à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur le plan de l'écliptique.

Manipulation : Une maquette des saisons

Matériel par élève : un morceau de carton plume de 8 cm de côté, 4 boules de coton de couleurs différentes choisies par les élèves pour symboliser les saisons, 4 épingles ou clous.

Objectif de la maquette : réaliser un montage indiquant la position de la Terre par rapport au Soleil le jour des équinoxes et des solstices, expliquant les variations observées de la durée relative du jour et de la nuit.

On fait une croix au milieu du carton, c'est la place du Soleil. On trace un cercle, c'est l'orbite de la Terre dans le plan de l'écliptique (le carton plume).

On place les 4 boules aux 4 dates, en les fichant dans le carton plume à l'aide d'une épingle. Il est possible de repérer l'Equateur et le lieu où l'on est.

Une seule solution est correcte et permet d'expliquer la variation de la durée du jour, il faut que les axes de la Terre soient parallèles entre eux et qu'ils soient inclinés de  $23,5^\circ$  par rapport au plan de l'écliptique.

Il faut indiquer aussi les saisons, le sens du mouvement de la Terre sur son orbite et aussi, éventuellement le sens de rotation de la Terre sur son axe.

Conclusion :

L'alternance des saisons est la conséquence de la rotation de la Terre autour d'un axe incliné par rapport au plan de révolution autour du Soleil.

Notes p. 38



# Mesures de distances

Jean Ripert

Nous souhaitons présenter une série d'articles dont le contenu est directement lié au nouveau programme de physique de seconde. Le groupe de travail qui s'est mis en place (cf. compte-rendu de l'AG 99), proposera des articles de base dans les Cahiers et des suggestions de travaux pratiques en vue d'échanges sur le site internet du CLEA qui pourront déboucher sur une publication.

Cet article, qui sera publié en plusieurs fois, traite des mesures de distances en adoptant un ordre chronologique.

Le premier paragraphe est consacré à la mesure du rayon de la Terre.

Ce qui est admirable, ce n'est pas que le champ des étoiles soit si vaste, c'est que l'Homme l'ait mesuré.

Depuis que l'Homme essaie de se faire une idée de l'Univers, celui-ci a subi une extraordinaire "expansion", au moins dans sa représentation intellectuelle.

Il y a 5000 ans, la Terre (quelques milliers de km) était au centre de l'Univers, lequel s'arrêtait à la sphère des fixes (quelques dizaines de milliers de km ; voir la distance du Soleil dans l'hypothèse d'une Terre plate). Aujourd'hui on mesure des distances de l'ordre de la dizaine de milliards d'années de lumière. Cela représente tout de même un accroissement moyen de  $10^{12}$  km chaque seconde.

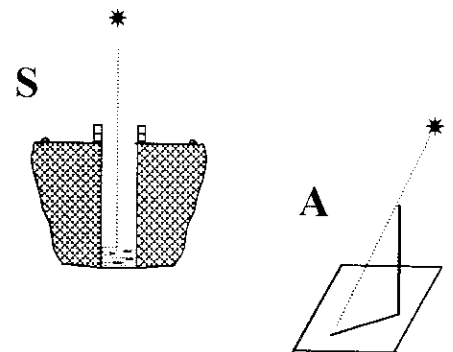
Si l'Homme a pu se faire une idée des dimensions de l'Univers, c'est grâce à la mesure. Mesurer des longueurs, mesurer des durées et des angles pour atteindre par des méthodes directes des distances de plus en plus grandes (celle de la Lune, du Soleil, des étoiles les plus proches), mais aussi par des méthodes indirectes, mesurer des luminosités, des périodes ou des vitesses pour atteindre les distances des ob-

jets les plus éloignés.

Découvrons dans un ordre à peu près chronologique l'ingéniosité déployée par nos prédécesseurs pour réussir un arpentage de l'Univers.

## Le rayon de la Terre.

Le jour du solstice d'été, à midi solaire, le Soleil est visible au fond d'un puits à Syène<sup>1</sup> (S), cela signifie que le Soleil est au zénith. Ce jour là, à midi solaire, à Alexandrie (A), le Soleil n'est pas au zénith, un objet vertical laisse donc une ombre sur le sol horizontal.



La mesure de l'angle que fait la direction du Soleil avec la verticale, à Alexandrie, à midi solaire et la connaissance de la distance (d) séparant Syène d'Alexandrie permet de mesurer des distances. Mais ces mesures peuvent conduire à des conclusions différentes suivant les hypothèses de départ.

Supposons comme à l'époque d'Anaximandre<sup>2</sup> et d'Anaxagore<sup>3</sup> que la Terre est plate. Dans ce cas on peut dire que le Soleil n'est pas dans la même direction à Syène et à Alexandrie. Le schéma 1 ci-dessous donne la position du Soleil. La connaissance de l'angle  $\alpha$  et de la distance Syène-Alexandrie (d) permet de calculer la distance (D) du Soleil à la Terre.

$$\tan \alpha = AS / SSo = d / D$$

d'où  $D = d / \tan \alpha$ .

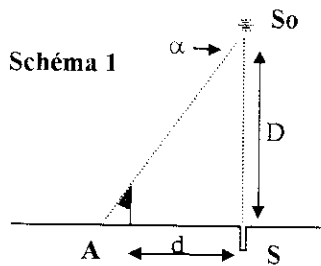


Schéma 1

Supposons comme Eratosthène<sup>4</sup> que la Terre est ronde<sup>5</sup> et que le Soleil est très loin. Dans ce cas les rayons solaires sont pratiquement parallèles et les mesures précédentes permettent de déterminer le rayon (R) de la Terre (schéma 2).

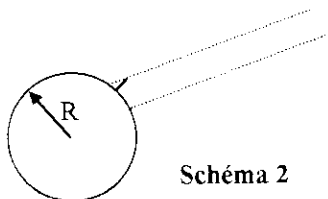


Schéma 2

La mesure de la hauteur (h) de la tige et de la longueur (O) de l'ombre permet de calculer l'angle  $\alpha$  (schéma 3)  $\tan \alpha = O / h$ . Eratosthène a trouvé  $7^\circ 1 / 7$  pour cet angle.

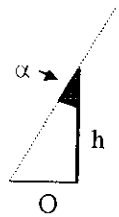


Schéma 3

Cet angle  $\alpha$  correspond à la différence de latitude entre Syène et Alexandrie (schéma 4).

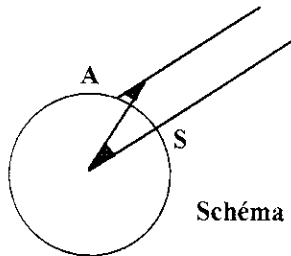


Schéma 4

Ce schéma est fait dans le plan méridien passant par Syène<sup>6</sup>.

Pour l'angle  $\alpha$  on a une distance d (distance Syène-Alexandrie), donc pour  $360^\circ$  on aura le périmètre de la Terre. Les textes nous disent qu'Eratosthène a trouvé 252 000 stades soit 39 690 km<sup>7</sup> d'où  $R = 5839$  km.

**Remarques :**

- il faut insister sur le contexte historique.
- plus que sur le rapprochement entre la valeur trouvée par Eratosthène et la valeur actuelle, il faut insister sur la méthodologie.
- la mesure peut être faite, même si une des villes n'est pas située entre les tropiques. Les villes doivent être sur le même méridien et les mesures doivent se faire quand le Soleil passe dans le plan méridien donc à midi solaire vrai. Dans ce cas la différence de longitude entre les deux villes est égale à la différence des angles mesurés.

$$\gamma = \alpha - \beta \text{ et } d = R \cdot \gamma \text{ (rad).}$$

- la mesure peut être faite si les deux villes ne sont pas sur le même méridien. Dans ce cas, d est égale à la distance séparant les parallèles passant

par les deux villes. Les mesures doivent se faire à midi solaire vrai local. On peut se libérer de cette contrainte en enregistrant le déplacement du Soleil.

Notes

1- En fait Assouan se trouve un demi degré (une soixantaine de km) au Nord du tropique du Cancer, cela signifie que la direction du Soleil fait un angle de 1/2 degré avec la verticale. Il doit être difficile en se penchant sur la margelle d'un puits de constater cet écart.

2 - Anaximandre (610-547 av JC) disciple et successeur de Thalès, il découvrit l'obliquité de l'écliptique et le mouvement des étoiles autour de la Polaire. Pour lui, la Terre était au centre de l'Univers, en suspens, hors de toute contrainte externe et immobile à cause de son égal éloignement de toute chose et avait la forme d'un cylindre. Nous foulons une de ses extrémités planes. Il utilisa le gnomon.

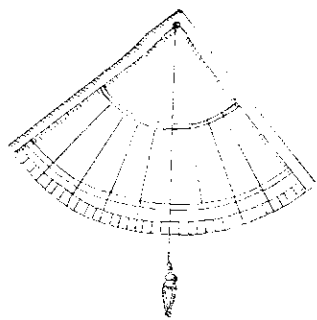
3 - Anaxagore (500-428 av JC) il eut pour élève Périclès et Socrate (dit-on), il étudia les éclipses.

4 - Eratosthène (284-200 av JC) un des premiers conservateurs de la bibliothèque d'Alexandrie, échangea un importante correspondance avec Archimède.

5 - Certainement qu'un ou deux siècles avant Eratosthène on savait que la Terre était ronde. En voyageant vers le Sud, les navigateurs voyaient de nouvelles étoiles. Aristote (384-322 av JC) confirme cette sphéricité par la forme de l'ombre de la Terre au moment d'une éclipse de Lune.

6 - En fait Alexandrie n'est pas sur le même méridien puisque cette ville est située environ 330 km à l'Ouest du méridien de Syène, c'est à dire environ  $3^\circ$  à l'Ouest.

7 - Suivant les longueurs des stades en vigueur à l'époque on trouve des valeurs différentes. La valeur du stade variait de 147 à 192 m. La valeur souvent citée est 185 m.



# Les ères et les styles

Françoise Suagher

Dans la science des calendriers l'ère est le début d'une chronologie et le style d'un calendrier est la date du Nouvel an. Françoise Suagher nous propose ici une description de différents ères et styles que les hommes ont inventé pour organiser une chronologie.

Cet article est paru dans le numéro spécial de la revue Le Point Astro<sup>1</sup> consacré au Temps.

Le besoin d'une chronologie universelle pour raccorder les événements historiques a stimulé les travaux de chronologie. Le plus ancien de ce travaux est celui de Mercator (1512-1594) qui propose une "Chronologie depuis le commencement du monde jusqu'en l'an 1568". Son travail était basé sur des éclipses et des observations astronomiques. Mais dans ce type de système, il est nécessaire de fixer une origine. Ce choix est totalement arbitraire. Dans la science des calendriers, l'ère est le début d'une chronologie.

## Les ères.

Cette date arbitraire bien souvent n'a pris son rôle que de nombreuses années après l'événement considéré.

### L'ère chrétienne.

Notre calendrier actuel, le calendrier grégorien, a comme origine la naissance de Jésus Christ. On la doit au moine Denys le Petit (500-560) mathématicien et astronome, qui, au VI<sup>e</sup> siècle propose de compter les années à partir de la naissance du Christ et d'utiliser le symbole AD (Anno Domini : Année du Seigneur) pour numérotter les années. L'idée n'est pas de lui, car au II<sup>e</sup> et III<sup>e</sup> siècles les évêques Alexandre, Clément, et Eusèbe avaient proposé un

rattachement de la chronologie à la vie du Christ, mais cela ne s'était pas fait. La proposition de Denys le Petit a été rapidement acceptée par l'Eglise qui a utilisé les années à partir de la naissance de JC pour connaître les dates de pâques, mais il a fallu attendre l'an 1000 pour que son usage devienne définitif sur les documents officiels.

Le comptage des années avant JC sera introduit au XVIII<sup>e</sup> siècle par Jacques Cassini<sup>2</sup>.

Le fait que l'on ait commencé à compter un depuis la naissance de JC est responsable de l'ambiguïté actuelle sur la fin du millénaire. Mathématiquement, il n'y a aucune hésitation, la 2000<sup>e</sup> année se terminera le 31 décembre 2000 et le troisième millénaire débutera avec le 21<sup>e</sup> siècle le 1<sup>er</sup> janvier 2001.

Chaque calendrier a son origine et nous citerons ici les ères les plus connues.

### L'ère de Nabonassar.

La première tentative de reconstitution du calendrier égyptien est due à Ptolémée qui a proposé une liste et une généalogie des empereurs et rois de Rome, de Grèce et de Perse remontant jusqu'au roi de Babylone Nabonassar, roi en 747 avant JC. le 26 février - 746 est le point de départ de cette ère dite de Nabonassar. Ce monarque



avait décidé de prendre la date de son avènement au trône comme origine de l'histoire assyrienne. Cette ère s'appelle aussi l'ère des Babyloniens.

### **L'ère des Martyrs.**

L'usage de la chronologie romaine basée sur le début du calendrier julien (ère julienne depuis 46 avant JC), s'est terminée en 284. Le 29 août 284 inaugure une nouvelle chronologie appelée ère des martyrs ou ère de Dioclétien. L'année 284 marque le début du règne de cet empereur avec une recrudescence de la persécution des chrétiens. La date du 29 août qui apparaît ici est en fait la date à laquelle l'empereur Auguste a imposé le calendrier julien en Egypte en l'an 30. L'ère de Dioclétien est encore utilisée de nos jours dans le calendrier de l'Eglise Copte.

### **L'ère musulmane.**

Dans le calendrier musulman, le point de départ est le vendredi 16 juillet 622, c'est l'ère musulmane ou Hégire, et cela correspond à la date où Mahomet quitte la Mecque pour se rendre à Médine.

### **Les ères birmane et bouddhique.**

Au Cambodge, Laos et Vietnam deux ères sont utilisées : la petite ère d'origine birmane qui a débuté le 21 mars 638 après JC et l'ère bouddhique qui commence avec la mort de Bouddha (Pleine Lune du mois de Pissak qui s'est produite en avril-mai 544 avant JC).

### **L'ère saka.**

En Inde, le gouvernement a instauré le 22 mars 1957 un calendrier officiel qui est un calendrier grégorien dont le point de départ est l'ère saka soit le 3 mars de l'an 78 après JC.

## **Le style.**

Le style d'un calendrier est la date correspondant au Nouvel an. Chaque calendrier a son style et le sujet est particulièrement vaste, nous nous restreindrons uniquement aux différents styles utilisés en France. Dans notre calendrier, c'est le 1<sup>er</sup> janvier : mais il n'en a pas toujours été ainsi.

L'année romaine, dite de Romulus commençait le 1<sup>er</sup> mars, mais Jules César l'a déplacée au 1<sup>er</sup> janvier, date de l'entrée en fonction des consuls. Par la suite, de nombreuses dates seront utilisées pour débiter l'année. Ainsi l'année médiévale a eu comme origine des dates très diverses comme le premier mars, le premier janvier, le 25 mars, c'est à dire à la fois l'Annonciation et l'équinoxe de printemps (ancienne date), ou encore le jour de Noël, de l'Ascension, voire même le jour de Pâques.

Le style de l'Ascension, connu à Alexandrie, n'a jamais été utilisé en Occident.

### **Le style du premier mars.**

La coutume de commencer l'année au premier mars comme au temps du calendrier romain, était à l'honneur à la cour de rois mérovingiens (VI<sup>e</sup> et VII<sup>e</sup> siècles) mais les Capétiens l'ont tout de suite abandonnée. Elle a subsisté à Venise jusqu'à la fin de la république sérénissime.

### **Le style de l'Annonciation.**

Utilisé dans plusieurs diocèses capétiens, ce style commence l'année 9 mois avant la Nativité. Suivi par une grande partie des papes, il est abandonné au XVIII<sup>e</sup> siècle.

### **Le style de Pâques.**

L'année commençait dans la nuit pascalle limitée par deux dimanches de Pâques (premier dimanche qui suit le quatorzième jour de la Lune après le 21 mars) l'année comportait de 330 à 400 jours et pouvait contenir deux mois d'avril. Ainsi l'an 1347 s'est écoulé du premier au 20 avril de l'année suivante. En usage en France depuis Louis VI, il fut utilisé au XII<sup>e</sup> et au XIII<sup>e</sup> siècles et de façon sporadique jusqu'au XVI<sup>e</sup>.

Afin d'éviter la confusion qui était possible pour les jours de mars et d'avril qui figuraient deux fois dans la même année, il était généralement indiqué après ou avant Pâques, soit pour nous l'année suivante.

### **Le style de la nativité.**

L'année commençait le jour de Noël, le 25 décembre, qui coïncidait avec l'ancienne fête du solstice d'hiver.

Il a été adopté par l'Eglise romaine sous le règne de Charlemagne qui fut couronné à Rome le 25 décembre de l'an 800. Ce style a été en usage en France jusqu'au XI<sup>e</sup> siècle mais il a subsisté en Bourgogne jusqu'au XIII<sup>e</sup> et beaucoup plus tard en Dauphiné. Au XII<sup>e</sup> il a été remis en usage par l'Empereur romain germanique Frédéric I plus connu sous le nom de Frédéric Barberousse.

### **Le style du premier janvier ou de la Circoncision.**

L'emploi de ce style a été conseillé au roi Charles IX par le chancelier Michel de l'Hôpital. Il fait référence au calendrier julien. Par décret du premier janvier 1563, confirmé le 4 août et ratifié par le parlement de Paris en 1567, ce style est instauré dans les dates publiques mais il faudra attendre de nombreuses années pour qu'il soit utilisé par tous.

## **Eres et styles du calendrier républicain.**

Pendant la Révolution, on a compté les jours avec des ères et des styles différents : l'ère de la Liberté a débuté le 14 juillet 1789, l'ère de l'Egalité débute le 22 septembre 1792. L'an I de l'ère de l'Egalité commence au premier janvier 1793. Enfin, l'ère des français, créée avec le calendrier républicain est adoptée le 5 octobre 1793 avec effet rétroactif au 22 septembre 1792 qui deviendra le premier Vendémiaire de l'an I. Le calendrier révolutionnaire qui sera adopté définitivement le 24 novembre 1793 fera coïncider le premier jour de l'an, premier Vendémiaire (c'est alors le style du calendrier révolutionnaire) avec le début de l'ère des français. Le calendrier révolutionnaire sera aboli par Napoléon Bonaparte en 1806 (an XIV).

### Notes de la rédaction

1 - Revue de l'Association Astronomique de Franche-Comté : ce numéro spécial est recensé dans les "lectures pour la marquise" de ce Cahier.

2 - Jacques Cassini (1677-1756), fils de Jean Dominique.



# Eclipse et sensation visuelle

Jean-Noël Terry

Ayant fait partie des anonymes discrets qui ont fait le voyage du 11 août 1999... pour vivre l'éclipse sous les parapluies, j'ai eu le temps de contempler, avec mes compagnons d'infortune, le paysage.

Nous avons tous fait la même constatation : l'arrivée brutale de la nuit, et, ensuite, un retour encore plus rapide de la lumière.

Comment expliquer cette sensation et, surtout, cette dissymétrie ?

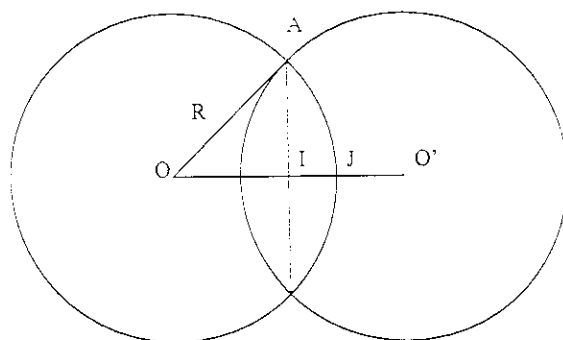
Comme il n'y a pas de raison que l'ombre aille plus vite à l'arrière qu'à l'avant, il faut chercher ce qui se passe pour la variation de luminosité moyennant quelques considérations géométriques.

## Variation de la luminosité pendant l'éclipse totale.

Nous ne considérons dans la suite que la luminosité du disque solaire, donc sans sa couronne.

Le Soleil et la Lune sont supposés avoir le même diamètre apparent  $R$ .

La situation se résume donc sur la figure suivante :



En posant  $OO' = 2d$ , donc  $OI = d$ , nous allons faire varier  $d$  de  $R$ , premier contact, à  $0$ , éclipse totale. Il suffit d'exprimer l'aire apparente du Soleil :  $A$ .

$A = \pi R^2 - 4 \times (\text{aire du secteur OAJ} - \text{aire du triangle OIA})$

L'aire du triangle est simplement donnée par :

$$\frac{d}{2} \sqrt{(R^2 - d^2)}$$

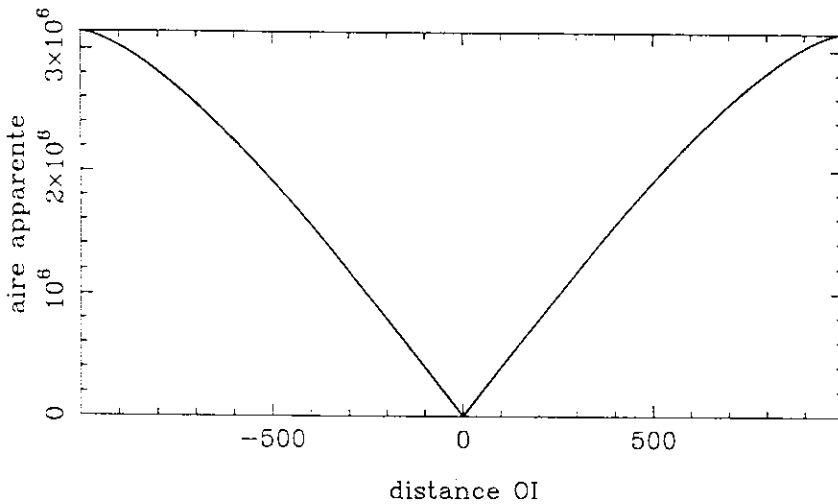
L'aire du secteur de disque vaut :

$1/2 R^2 \theta$  où  $\theta$  est la mesure de l'angle  $AOI = \text{Arccos}(d / R)$

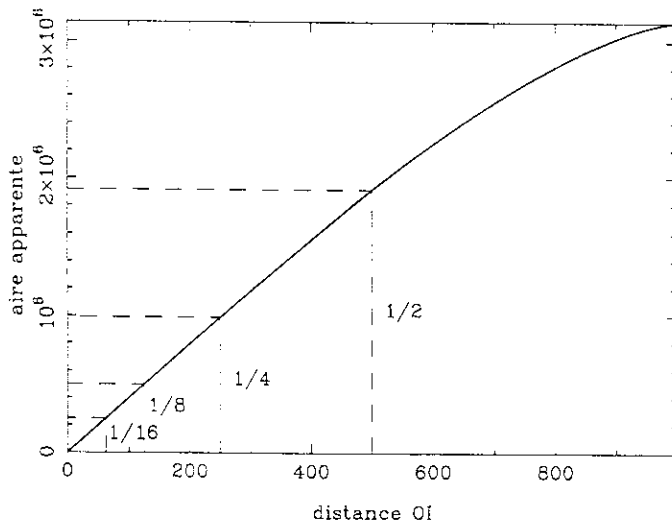
Soit enfin,

$$A = \pi \cdot R^2 - 2R^2 \cdot \text{Arccos}(d / R) + 2d \sqrt{R^2 - d^2}$$

### Eclipse complète



### Demi-éclipse totale



Les outils informatiques permettent de visualiser cette courbe facilement.

Les figures proposées le sont pour un choix arbitraire d'unités donnant  $R=1000$ . Pour l'éclipse entière, la courbe est symétrique par rapport à l'axe des ordonnées.

Intéressons-nous à la première partie de l'éclipse ; une surprise nous attend : la courbe est quasi linéaire, surtout dans la partie où la baisse de luminosité est la plus sensible. Ce n'était pas criant de vérité en imaginant un disque passant devant l'autre !

La vitesse de passage d'un disque devant l'autre étant constante, nous pouvons représenter les temps  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  de la durée d'une demi-éclipse.

La luminosité est elle aussi à peu près divisée par 2, 4, 8, 16.

La cause du phénomène observé n'est donc pas géométrique.

Cherchons du côté du capteur... humain !

## Où il faut se méfier des apparences.

En fait, nous mettons en évidence un phénomène bien connu pour le son, quand nous parlons décibels, et bien connus des astronomes, quand nous parlons magnitudes.

L'œil ne réagit pas de façon linéaire, ce qui nous a valu notre échelle logarithmique des magnitudes.

En cas de baisse de lumière, l'iris se contracte assez vite (1 seconde environ), et la pupille se dilate. Les bâtonnets prennent le relais des cônes quand la luminosité devient faible ; outre leur faible sensibilité à la couleur, on peut, en simplifiant, considérer que leur réponse est logarithmique.

Ainsi, la même sensation de baisse de luminosité sera ressentie quand cette dernière sera divisée par deux...mais les intervalles de temps sont eux aussi divisés par deux à chaque fois. Des sensation identiques sont donc ressenties à des intervalles de temps de plus en plus courts.

Mais aurions-nous une perception linéaire du temps ? C'est là un autre débat !

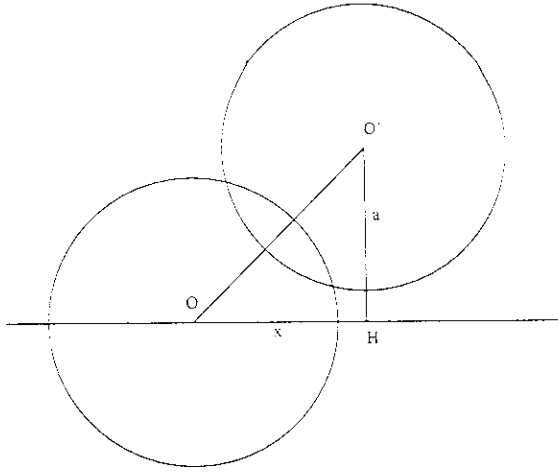
L'effet est bien entendu inversé au retour de la lumière.

## En cas d'éclipse partielle.

Le cas est différent, car la baisse de luminosité n'est sans doute pas suffisante pour que les bâtonnets entrent en jeu. On ne doit pas constater le même phénomène. Une telle éclipse peut parfaitement passer inaperçue au non initié si elle est de faible pourcentage ;

On peut encore, pour le plaisir tracer la courbe. Il suffit de considérer :  $OH = x$ ,  $OO' = 2d$ .

Il faut introduire "a" qui caractérise l'aspect plus ou moins partiel de l'éclipse.



Et, cette fois,

$$OO' = \sqrt{a^2 + x^2}$$

donc  $x$  varie maintenant de 0 à

$$\sqrt{4R^2 - a^2}$$

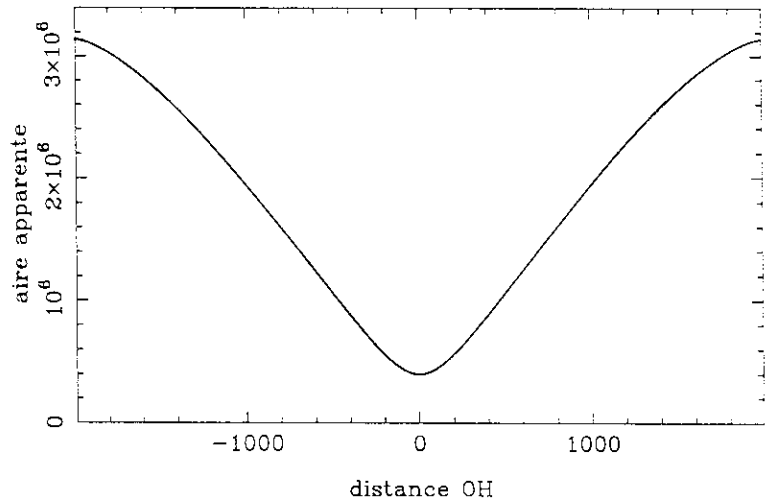
( $a < R$  sinon il n'y a pas d'éclipse du tout !).

La courbe tracée représente une éclipse partielle à 87%.

On dit qu'à quelque chose malheur est bon...

Mais j'aurais préféré vous montrer de belles photos d'une totale...les calculs, eux, se moquent de la météo !

Eclipse partielle



### Remue-méninges : solution du n°88

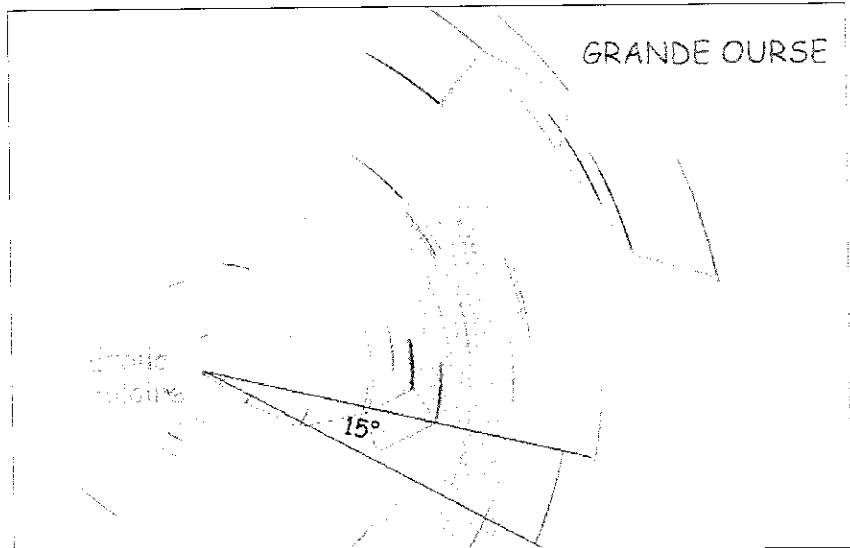
Le mouvement apparent du ciel provient de la rotation de la Terre sur elle-même. L'Étoile Polaire est au centre de ce mouvement apparent car elle est située dans le prolongement de l'axe de la Terre (à un peu moins d'un degré près).

L'angle de  $15^\circ$  tracé sur la figure peut être mesuré en utilisant la trace laissée par n'importe quelle étoile.

Comme la Terre effectue un tour sur elle-même en 24 heures (ou plus précisément 23 h 56 min 4 s) :  $360^\circ$  correspond à 24 h et  $15^\circ$  à 1 h.

La pose photo a donc duré 1 heure.

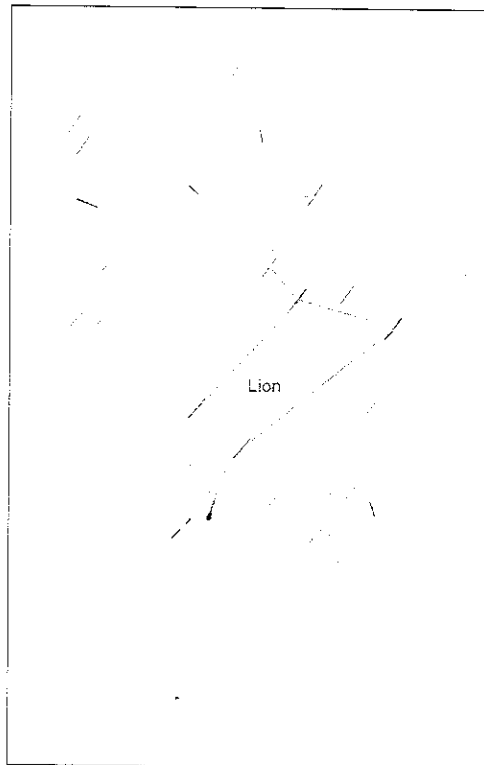
On pouvait aussi repérer sur la photo la Grande Ourse en haut à droite et la Petite Ourse qui part de la Polaire.





# Léonides

Pierre Causeret



Dans la nuit du 17 au 18 novembre 1999, ceux qui ont eu la chance d'avoir un ciel dégagé et le courage de sortir entre 2 heures et 4 heures du matin ont pu observer une multitude d'étoiles filantes, les "Léonides". Au moment du maximum, aux alentours de 3 heures, on en comptait bien une par seconde !

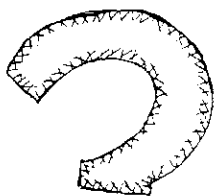
J'ai pris cette photo du côté d'Aix en Provence aux alentours de 3 heures du matin. Les arcs de cercle sont dus aux étoiles qui ont laissé une traînée lumineuse pendant les 10 minutes de la pose. On peut d'ailleurs reconnaître la constellation du Lion au centre. Le trait le plus brillant, c'est une étoile filante particulièrement lumineuse. D'autres sont à peine visibles sur le cliché original et ont été renforcés sur le négatif en dessous. On s'aperçoit qu'elles semblent toutes provenir d'un même point appelé le radiant et situé ici dans la crinière du Lion. Pour comprendre ce phénomène, on donne souvent l'image d'un automobiliste se déplaçant sous la neige. Les flocons semblent provenir d'un point situé devant la voiture et au-dessus alors qu'en réalité, ils se déplacent tous parallèlement. La position de ce point dépend de la vitesse du véhicule ainsi que de la direction et de la vitesse de chute des flocons.

Le 18 novembre, la Terre filait à la vitesse de 30 km/s approximativement en direction de Régulus. La vitesse propre des particules à l'origine des étoiles filantes, issues de la comète Temple-Tuttle, a décalé le radiant vers le haut, du côté de la crinière du Lion.

## La question :

On cherche la longueur réelle approximative en km de la trace laissée par cette léonide. On suppose pour cela que les poussières météoritiques ont des trajectoires parallèles et qu'elles deviennent lumineuses en interagissant avec l'atmosphère à une centaine de km d'altitude.

Le bas de la photo correspond à l'horizon. Dernière donnée importante : la distance angulaire Deneb -Regulus est de  $25^\circ$



## NOUS SOMMES RINGARDS

Catherine Dufossé, APMEP

### POURQUOI UNE FORMATION DES ANIMATEURS SCIENTIFIQUES ?

Renelle Takvorian

Le premier texte ci-dessous est l'éditorial du bulletin n° 425 de l'APMEP<sup>1</sup>, écrit par la présidente de cette association qui nous a donné son accord pour le reprendre tel quel. Nous nous sentons, nous enseignants du CLEA, proches des idées qui y sont développées.

Dans le second texte, Renelle Takvorian nous donne son avis sur l'importance de la formation des animateurs scientifiques.

Nous espérons que cette rubrique, ouverte, provoquera des réactions...

#### **Nous sommes ringards.**

Nous sommes ringards : on nous le dit, on nous l'écrit, on nous le répète. Nous sommes des dinosaures, tout à fait inadaptés à la société moderne. Pourquoi cet acharnement ? En fait, il y a de bonnes raisons à cela. J'en vois clairement deux :

La première. c'est que nous ne produisons rien qui s'achète. Ce que nous essayons de fabriquer, des têtes bien faites, ça ne se trouve pas sur les rayons des supermarchés. C'est une affaire de rencontre et de communication entre des personnes, d'attention et d'efforts de part et d'autre. Denis Guedj nous l'a fort bien expliqué à Rouen<sup>2</sup> : ce qui a de la valeur n'a pas de prix.

Honte à nous qui ne voulons pas participer à un grand marché de l'éducation, qui ne voulons pas jouer le jeu de la société de consommation. Malgré la pression ambiante, nous résistons : nous ne voulons pas que nos écoles deviennent des supermarchés d'un savoir qui serait traité comme une marchandise.

La deuxième. c'est que nous ne savons pas améliorer notre vitesse de production :

depuis la magnifique leçon de Socrate, qui apprend au jeune esclave comment dupliquer un carré, nous n'avons guère fait de progrès ! Je prétends même que nous ne pouvons pas en faire ! Le cerveau d'un enfant, ça s'obstine depuis des siècles et malgré les progrès de la science, à fonctionner toujours à la même vitesse. Pour faire comprendre une notion nouvelle, pas de miracle : aujourd'hui comme hier, il faut en parler ensemble longuement, il faut la faire fonctionner dans des situations variées pour repérer les problèmes où elle sera efficace et comprendre son utilisation. Pour faire progresser un élève un peu lent, il faut disséquer ses erreurs, chercher des représentations et des exemples qui lui conviendront mieux.

Les technologies modernes peuvent réduire les durées de fabrication d'une voiture ou d'un réfrigérateur, elles ne peuvent réduire le temps de formation d'un enfant, car ce qui le forme, c'est son temps de réflexion. Certes, les outils modernes sont très intéressants : ils fournissent des images nouvelles, et apportent de nouvelles occasions de vérification, ils permettent de ne pas toujours se contenter des cas que l'on résout facilement à la main, et enrichissent la gamme des problèmes et des

situations tout comme la documentation. Ils peuvent aussi être plus motivants. Mais non, ils ne font pas gagner du temps, car c'est bien toujours le même élève qui apprend, avec toujours le même outil, son cerveau. Pour comprendre et apprendre à agir, il faut du temps, il en a toujours fallu, et il en faudra toujours : non, pour former un jeune nous ne pouvons pas réaliser de gains de productivité.

Notre Ministre, semble-t-il, ne le sait pas puisqu'il prétend faire mieux en moins de temps, grâce aux technologies nouvelles. Quant aux allègements des horaires de seconde, destinés dans le discours officiel à mettre l'accent sur le travail personnel de l'élève, ils nous semblent rater leur but. Nous voyons dans la pratique, nous qui sommes sur le terrain, que, bien souvent, nos élèves perdent leur temps au café du coin pendant les "trous" de leur emploi du temps : l'accueil des élèves qui n'ont pas cours n'étant pas organisé dans les lycées, l'allègement des horaires n'est en rien compensé par une incitation accrue au travail personnel.

Ainsi nous sommes, par la force des choses, des dinosaures, mais nous sommes de plus des dinosaures mécontents.

#### Notes :

1 - Novembre-décembre 1999.

Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public :  
26, rue Duméril, 75 013 Paris  
apmep@wanadoo.fr

<http://www.univ-lyon1.fr/apmep/>

2 - Lors des journées nationales de l'APMEP en novembre 1998.

## Pourquoi une formation des animateurs Scientifiques ?

### Le rôle des intervenants extérieurs.

Un constat : il y en aura, il y en a déjà... Il y en aura de plus en plus pour diverses raisons, plus ou moins louables, qu'il est d'ailleurs très intéressant d'analyser :

#### De la part du ministère :

- souci de mettre l'école, le collège, le lycée en prise sur la vie ;
- favoriser les formules transdisciplinaires ;
- démagogie médiatique pour cristalliser le mécontentement sur les professeurs ;
- moindre coût des intervenants ;
- désengagement de l'Etat dans le fonctionnement du "service" éducation.

#### De la part des associations de bénévoles :

- participer à la diffusion d'une culture ;
- se faire connaître et reconnaître ;
- obtenir des subventions.

#### De la part des intervenants :

- faire partager son enthousiasme ;
- trouver un créneau pouvant déboucher sur un emploi ;
- améliorer sa propre formation... son C.V..

Il n'est pas question dans ce propos des opérations de prestige qui ne concernent que quelques élèves privilégiés de quelques classes en France, non reproductibles à grande échelle. La formation scientifique doit s'adresser à tous.

Donc :

- Quels intervenants ?

- origine : individuelle, associative, sociétés privées, clubs ou sectes.

- niveau de formation requis : très variable actuellement : de BAFA à licence, DEA... Ingénieurs en retraite.

- Pour quoi faire ? Quels sont les rôles respectifs de l'enseignant et de l'animateur scientifique ?

- Dans quel cadre ?

Trois points qui sont liés :

Lorsque l'intervenant accueille les classes dans un centre spécialisé, musée, planétarium, CCSTI..., il dispose d'outils d'animation "exceptionnels" pour l'enseignant. Il s'agit d'un bréf moment (de 2 heures à une semaine) privilégié, de manipulations, expéri-

mentations, préhensions de phénomènes. L'intervenant est alors, le plus souvent, l'acteur principal. Ses animations, le vocabulaire utilisé doivent être adaptés à l'âge des élèves, à leur niveau de connaissance. Dans ce cas, le rôle de l'enseignant se situe surtout avant pour la préparation et après pour l'exploitation avec explicitation et mise en exergue des preuves et lois.

Si l'intervenant vient dans la classe, l'exigence d'un vocabulaire et d'un niveau d'intervention adaptés à celui des élèves est encore plus grande, il doit s'intégrer dans un créneau dont il ne connaît pas l'histoire. Seul l'enseignant est à même de rétablir les liens.

Si l'intervenant est installé (une journée ou une semaine) dans l'école, collège ou lycée pour y recevoir des classes, son adaptation au niveau de élèves devient plus délicate. A chaque enseignant d'organiser et de veiller à ce que l'intervention ne soit pas une simple détente ludique.

En conséquence, les rôles de l'enseignant et de l'intervenant ne sont pas interchangeables ; chacun doit garder sa spécificité, évidemment dans le cadre d'une collaboration raisonnable puisque limitée dans le temps. Le niveau de compétence de l'intervenant en milieu scolaire doit lui permettre d'intégrer harmonieusement ses séances d'animation aux objectifs pédagogiques des enseignants.

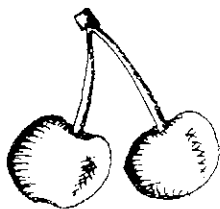
#### Notes de l'auteur :

- Les plus grands expérimentateurs n'ont pas toujours su (ou pu) tirer de leurs expériences les conséquences logiques, les lois générales qui régissent les phénomènes, ... alors n'attendons pas l'impossible de nos élèves, même mis en situation.

- Former l'esprit scientifique, c'est rendre les élèves aptes à faire des recherches ... et des découvertes ; ce n'est qu'occasionnellement les amener à découvrir ce qui est déjà connu ... Une vie n'y suffirait pas, à fortiori une scolarité si brillante soit-elle.

■

## COMPTE-RENDU DE L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE



VIE ASSOCIATIVE

### Compte-rendu de l'AG du CLEA 28 novembre 1999.

Cette année, c'est l'équipe de Marseille coordonnée par Marie-France Duval, qui a organisé cette rencontre et accueilli chaleureusement, à l'Observatoire, une cinquantaine de participants.

Dans la salle de réunion, nous avons pu apprécier l'exposition sur Mars réalisée par l'association Andromède : un travail approfondi, qui permet d'enrichir les visites scolaires et grand public organisées régulièrement par l'association.

Comme d'habitude, notre présidente Lucienne Gouguenheim a présenté l'ordre du jour, a animé les discussions et a essayé de tenir les horaires, tâche particulièrement difficile...

Les temps de pause ont été mis à profit pour se retrouver et discuter. Nous avons même eu le temps de visiter le musée de l'Observatoire qui contient de beaux instruments anciens. Le bon repas servi dans l'agréable salle à manger a été très convivial.

Le point-d'orgue de cette journée a été la conférence de Philippe Amram sur l'histoire de l'interférométrie.

#### Le compte-rendu financier.

Catherine Vignon, qui assure la difficile tâche de trésorière en ne ménageant ni son temps ni ses efforts, a présenté un bilan particulièrement positif.

Cette année il y a beaucoup de recettes et peu de dépenses.

En échange du paiement par le CNED de l'impression des quatre CC de l'année 1999 (n°85 à 88), un CD Rom pour le cours du CNED sera payé par le CLEA l'an prochain (environ 100 000 F).

Le HS8 a été tiré à 200 exemplaires.

En conclusion, les finances sont bonnes et on peut investir de l'argent pour permettre des rencontres de membres du GRP, l'élaboration et la réalisation de nouveaux documents, par exemple sur les

nouveaux programmes de physique et de SVT de seconde.

Les tarifs sont maintenus (vote à l'unanimité). Le CR est approuvé à l'unanimité (vote) et Catherine remerciée pour son travail (applaudissements chaleureux).

#### Le groupe CLEA de Marseille.

La dynamique équipe de Marseille travaille dans l'association Andromède dont certains membres militants étaient présents à l'assemblée : Daniel Bardin, Michel Bottero, Marie-France Duval, Claude Gayet, Simone Gindt, Jean-Pierre Odabachian, Lionel Ruiz et Renelle Takvorian.

Cette association organise l'animation scolaire à l'Observatoire et une exposition nouvelle chaque année. Nous avons présenté dans le Compte-rendu de l'AG 99 (cf. CC 84) le travail de Jean-Pierre Odabachian.

Cette année l'équipe a décidé de parler des intervenants extérieurs dans les écoles.

#### 1 - Les enseignants, intervenants extérieurs.

Jean-Pierre et Simone interviennent régulièrement dans les classes de primaire (la grande difficulté à mettre en place des sorties dans le contexte actuel oblige les enseignants à faire venir de plus en plus souvent des intervenants extérieurs). Le Rectorat et l'Académie de Marseille ont débloqué des heures pour l'intervention d'enseignants dans les écoles. Ceux-ci font deux séances de deux heures dans chaque classe concernée.

Simone débroussaille le terrain au niveau de l'astronomie en répondant aux questions des enfants et en corrigeant leurs erreurs. Un diaporama sur le système solaire est présenté puis un travail est exécuté sur les maquettes (simulateur solaire en particulier). Jean-Pierre ajoute que ces séances fonctionnent bien mais qu'il en faudrait trois ou quatre, les élèves sont plus à l'aise qu'à l'Observatoire et posent plus de questions. Le plus gros problème rencontré est la quantité d'images déversée par la télévision : les enfants ont beaucoup de préjugés sur les extraterrestres et sur les



## Situation des comptes au 1<sup>er</sup> novembre 1999

### Recettes du 1<sup>er</sup> novembre 1998 au 31 Octobre 1999

Repas AG CLEA 1998 ( 96 repas à 70 F)	6 720, 00
Ventes à l' AG du CLEA 98	8 641, 00
Ventes aux journées APMEP 98	1 820, 00
Rectorat de Guadeloupe	32 750, 00
(Remboursement d'avances pour un stage)	11 427, 02
Remboursement ANPE (Ile de France)	12 307, 70
Remboursement UEA 98	2 879, 25
Photocopies	6 409, 80

#### Cahiers Clairaut + cotisations CLEA

Abonnements seuls	36 927, 00
Abonnements et cotisations CLEA	118 430, 00
Dons	5 870, 00

#### Achats

Anciennes collections	2 590, 00
Cours Orsay	2 330, 00
Transparents	3 874, 00
Fascicules	9 369, 00
Diapositives	10 298, 00
Hors Séries	18 265, 00
Filtres colorés, réseaux	3 879, 50
location du Starlab	7 325, 00
Fiches Belin	471, 00
Divers	4 634, 00

Intérêts de la CE	8 861, 31
<b>Total recettes</b>	<b>313 488, 58 F</b>

### Dépenses du 1<sup>er</sup> novembre 1998 au 31 octobre 1999

Traitement de Sophie Durand	
4 x 3754 + 3 x 3794	26 398, 00
CANAREP (retraite complémentaire)	2 270, 00
GARP (1 078 + 1 070 +101, 42)	2 249, 42
ASSEDIC	19 993, 00
URSSAF	6 597, 00
	<b>Sous total</b>
	57 507, 42
Timbres + frais de correspondance	10 392, 50
AG CLEA 98 Repas	6 882, 47
AG CLEA 98 Invitation Didier Raboud	1 505, 80
Imprimerie Hauguel :	
Convocation AG (337,60) + CC84 (20 656,90)	20 994, 50
APF (Routage et affranchissement)	16 717, 63
Matériel bureau et secrétariat	4 316, 12
Informatique	5 524, 77
Stage Guadeloupe	11 500, 00
Edition du cours CNED	11 500, 00
Assurance MAIF	1 759, 15
EAAE	5 000, 00
Facture Zeiss	1 628, 10
Divers	1 481, 22
<b>Total dépenses</b>	<b>156 709, 68 F</b>

astéroïdes. D'autre part les idées fausses sur la Lune ("action" de l'atmosphère) sont liées à la perception de la lumière par les enfants. Ce sont les maquettes rapides à réaliser sur les cadrans solaires et les phases de la Lune qui les intéressent le plus. Les observations sont faites dans le cadre des visites à l'Observatoire.

Intervention d' André Chevaly de l'Observatoire de Hyères qui relate une expérience réalisée à partir de mai 1998 à raison d'un jour par semaine pendant six semaines en direction des écoles primaires.

Les classes ne montant plus à l'Observatoire à cause du plan Vigipirate, ce sont les enseignants qui vont vers elles à l'aide d'un minibus pour transporter le matériel (exposition, maquettes) et en organisant une séance d'une journée complète par classe. Cette expérience a dû s'interrompre faute de moyens (2 h de décharge seulement pour les enseignants).

## 2 - Les animateurs, intervenants extérieurs.

Claude et Renelle posent le problème et lancent le débat.

Qu'ils se déplacent dans les écoles ou qu'ils accueillent les élèves dans un centre scientifique, les animateurs font un travail très différent selon les conditions. Comment articuler l'animateur avec l'enseignant ? Attention aux sorties de fin d'année où l'animateur prend la place de l'enseignant. N'importe qui peut venir faire de l'enseignement à notre place d'où l'inquiétude des enseignants informés et le questionnement des responsables des centres d'animation. Beaucoup d'animateurs sont issus du milieu amateur (ce sont des passionnés ...) mais n'ont pas forcément de bases théoriques ni de formation pédagogique.

Un stage a donc été organisé à l'automne dernier par l'APLF (Association des Planétarium de Langue Française), avec Agnès Acker et des membres de l'association Andromède en direction des animateurs de planétarium sur le thème suivant : "Comment s'y prendre en milieu scolaire ?". Ce stage s'est déroulé au centre d'animation d'astronomie de Saint Michel l'Observatoire. Il a accueilli 24 animateurs sollicités par l'APLF.

Les prérequis : niveau souhaité premier degré du DU du CNED.

Le contenu :

- cours théoriques et mises à niveau ;
- conférences ;
- cours sur la transmission des savoirs à partir des représentations des élèves (utilisation du travail de Jean Luc Fouquet (cf .CC n° 85)). Accent sur les difficultés de vocabulaire et de terminologie ;
- observations et animations sur le terrain ;
- échanges de maquettes et différentes exploitations de ces maquettes.

Les animateurs ont pris conscience qu'il fallait de solides bases théoriques avant de faire de l'animation, et qu'il y avait une démarche pédagogique dans l'animation d'un planétarium. L'animateur est une personne ressource : il a

du matériel, des lieux et il fait la relation entre l'objet étudié et l'élève (pouvoir observer). Mais il ne doit pas empiéter sur le travail de l'enseignant et l'école doit être exigeante par rapport à la qualité des animateurs.

Un début de discussion a eu lieu sur la relation enseignants-animateurs d'où il ressort que :

- l'enseignant et l'animateur ne doivent pas se substituer l'un à l'autre mais collaborer à un même projet construit ensemble ;
- il faut se méfier des interventions ponctuelles et essayer d'être en cohérence avec le programme ;
- il est impératif de donner la possibilité à tous les élèves d'avoir la compréhension du phénomène.

## L'Observatoire Planétarium de la Hague .

Bruno Daversin est venu nous présenter la réalisation de cet important **Centre de Loisirs Scientifiques** en cours de chantier (il n'a pas encore reçu son nom de baptême définitif. OPH ou CLS) dans lequel la collaboration enseignants-animateurs peut être fructueuse si les enseignants de la région sont partie prenante. Sa présence, comme directeur de ce centre, à l'AG de notre association montre son souci d'utiliser ce matériel perfectionné et coûteux dans un but avant tout pédagogique.

Le concept est de créer un équipement touristique à vocation scientifique au cœur de la Hague. L'objectif est d'en faire un centre de découverte du ciel de premier plan en Europe. Les moyens donnés sont ceux d'un équipement scientifique et muséographique haut de gamme (35 MF !).

Ce centre comportera des labos et des salles de TP, un parc paysager de 2,5 ha, un parcours d'initiation à la gnomonique, un planétarium, un observatoire public, une exposition permanente, un amphi extérieur et un amphi intérieur de 100 places.

Les publics visés sont les individuels, les groupes scolaires (sur lesquels l'accent sera mis), les associations (troisième âge, comités d'entreprise), les stagiaires (astronomes amateurs, étudiants, les classes de découverte et les séminaires d'entreprise).

L'exposition permanente de 500 m<sup>2</sup> présentera l'Univers lointain, le Système solaire, la planète Terre, la galerie de l'astronome, la cheminée lunaire et une vidéo panoramique.

Un planétarium perfectionné (Zeiss ZKPS) pourra accueillir 80 personnes (10 m de diamètre : 7000 étoiles projetées ; vision héliocentrique, deux projecteurs de diapos. étoiles filantes et comètes).

L'observatoire public comportera un télescope Newton Cassegrain 600 mm, un télescope BSC flatfield de 300 mm à F / 2,7, un coelostat et un sidéostat de 150 mm, six instruments amateurs, des caméras CCD et vidéo, un coronographe et le pilotage informatique des instruments.

Le ciel de la Hague bénéficie d'un climat océanique, d'une pollution lumineuse faible et d'une pollution atmosphérique nulle...

### **Origine et esprit du projet :**

Dès 1993, le GAHQ (Groupe Astronomique Hague Querqueville), présidé par Dominique Boust, s'est mis en quête d'un lieu et de locaux capables de lui permettre de continuer à mener à bien les missions qu'il s'était données depuis sa fondation en 1980 : pratique et vulgarisation de l'astronomie, des sciences et des techniques qui s'y rapportent. Le pôle associatif GAHQ et RCNC (Radio Club Nord Cotentin) a élaboré le concept d'une structure consacrée tout à la fois à la pratique des loisirs scientifiques tournés vers la découverte de l'Univers et à la diffusion des sciences de l'Univers auprès du public. L'idée a séduit le district de la Hague et le CLS est alors entré dans une longue phase de maturation, encore en cours, à laquelle le pôle associatif a été étroitement associé pour ses compétences techniques et pédagogiques reconnues au plan local et national.

L'esprit du projet est de rendre accessible à tous l'Univers proche et lointain :

- *accessible aux sens* : il faut donner à voir, en donnant accès à tous les supports d'images ; il faut donner à toucher, à manipuler des objets et des phénomènes, souvent inaccessibles même s'ils font partie de notre paysage quotidien.

- *accessible à la raison* : il faut donner la matière pour comprendre ces objets et ces phénomènes.

Nous souhaitons que ce nouveau centre mette en valeur l'effort et le travail déjà accomplis par ces bénévoles.

### **Autres actions.**

Certains membres du CLEA n'ont pas pu se déplacer et nous ont signalé leurs activités :

Jean Chapelle, de Clermont-Ferrand poursuit dans sa région, avec l'Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne, des actions :

- au Complexe Universitaire des Cézeaux avec l'organisation de séances d'initiation à la pratique de l'astronomie, des conférences d'approfondissement et des séances d'observations et de photographies dans deux observatoires (téléscope de 250 mm dans le Campus universitaire et télescope de 400 mm à 1060 m d'altitude près de Clermont-Ferrand) ;

- auprès des enseignants et de leurs élèves : interventions dans les classes ou dans les centres de loisirs qui les accueillent.

Bernadette Durieux, de Longwy, a participé à la mise sur pied d'un club d'astronomie qui a beaucoup travaillé à la préparation de l'éclipse. En plus d'avoir des contacts avec les écoles, collèges, lycées, le club Astro-loisir a été présent lors de plusieurs manifestations locales avec conférences et observations et a travaillé avec des jeunes de 5 à 12 ans en centre aéré. Quant la météo le permet, des soirées d'observation sont organisées avec des enfants des écoles et leurs parents.

Francis Berthomieu, maître d'oeuvre du site internet du CLEA nous signale que le site du CLEA vient de changer

un petit peu de look. La rubrique "Questions" s'étoffe peu à peu grâce aux internautes qui s'interrogent : les dernières questions portent sur l'orientation des croissants de Lune vus de l'équateur ou d'autres latitudes ou encore sur les dates des prochaines éclipses. Il y a environ un millier de visites mensuelles du site. Francis cherche à recueillir les adresses électroniques de tous les représentants académiques.

D'autre part les abonnés qui le souhaitent peuvent lui communiquer leur e-mail (berthomi@ac-nice.fr) : ils pourront ainsi recevoir à un rythme régulier (mensuel ?) un court message permettant de se brancher sur les nouveautés du site CLEA ou sur des sites que les uns ou les autres pourraient signaler comme intéressants.

Cecilia Iwaniszewska, de Torun a participé à un programme Socrates-Comenius concernant 5 pays : l'Autriche, l'Espagne, la France, l'Italie, la Pologne. Ce projet ayant pour titre "les conceptions européennes de l'Univers" a commencé en mars 1998 et doit durer trois ans. Il a été impulsé par notre collègue Christian Mossler de Sin-le-Noble (59) et est donc fortement marqué par le CLEA. Le programme est multidisciplinaire, les élèves font des projets d'exercices en physique et en astronomie en différentes langues.

Les enseignants étrangers ont fait une visite d'études à Torun du 17 au 23 octobre 1999 durant laquelle Cécilia a fait deux conférences l'une sur "l'astronomie à Torun", de Copernic à nos jours, l'autre sur les "simples présentations des concepts astronomiques" en s'inspirant dit-elle des CC.

Annie Pincaut, dynamique professeur de SVT au lycée Camille Claudel de Troyes et chargée d'expérimenter le nouveau programme de seconde nous a présenté son travail qui fait l'objet de l'article "l'astronomie dans les programmes de SVT de seconde" dans ce numéro. Elle nous a aussi montré une maquette (carte des étoiles en trois dimensions) réalisée en club.

### **Les nouveaux programme de physique de seconde.**

Le programme est écrit dans l'état d'esprit de fiches CLEA (voir l'article de Jean Ripert paru dans le CC 88). Le problème est de garder l'esprit des fiches : comment nous, CLEA, pouvons faire quelque chose pour que ce programme soit appliqué.

Dominique Abouaf nous présente les réactions d'un groupe de collègues chargés d'expérimenter ce programme et ne connaissant pas l'ancien programme sur les deux thèmes concernant l'astronomie : "mesure des distances" et "lumière". Il apparaît que les élèves ne maîtrisent pas bien l'outil mathématique (Thalès, puissances de dix, lignes trigonométriques) et qu'il vaut mieux insister sur la notion de distance angulaire plutôt que sur celle de distance. Les formules peuvent être données en fonction du niveau des élèves et l'usage de la calculatrice ne doit pas masquer l'observation, la réflexion et l'acquisition d'un peu de culture. Pour beaucoup d'élèves la lumière part de l'oeil et il faut insister

sur la notion de rayon lumineux.

Par ailleurs des professeurs plus expérimentés ont trouvé ce programme intéressant même s'il leur a semblé difficile au départ.

Jean Ripert a commencé une expérimentation avec une classe de seconde dont la moitié avait choisi l'option IESP.

Il a débuté par un travail sur les mesures (puissances de dix, histoire avec Thalès et Eratosthène).

La démarche est basée sur le questionnement des élèves : il faut les aider à poser le problème.

Une sensibilisation peut être faite sur un travail à la maison (recherche de méthodes pour mesurer des objets à distance). Un travail sur des textes historiques pendant les heures de demi-groupe propose aux élèves de critiquer les résultats et de dégager des arguments du texte. Pendant le cours un protocole est établi. Il s'agit de réaliser une véritable démarche expérimentale (poser le problème, émettre des hypothèses, manipuler puis conclure).

A l'issue d'une discussion visant à chercher comment partager avec d'autres le travail réalisé et l'enrichir, en utilisant le site du CLEA et les CC, un groupe de travail s'est mis en place. Le but est de proposer plusieurs approches sur le même TP, de prendre en compte la dimension historique et de définir une grille d'objectifs.

Ce groupe de travail composé de Francis Berthomieu, Frédéric Dahringer, Jean-Luc Fouquet, Lucienne Gougouenheim, Marie-Agnès Lahellec, Lucette Mayer, Jean-Pierre Odabachian, Jean Ripert et Daniel Toussaint se réunira régulièrement et transmettra les résultats de son travail par l'intermédiaire du site CLEA et des CC.

### **LEA : d'Orsay 1998 à Marseille 1999.**

Notre collègue suisse Didier Raboud, de l'Observatoire de Genève nous présente avec clarté et humour quelques réalisations dans le cadre du dynamique LEA (Liaison Enseignants Astronomes).

### **L'expérience à l'école de Lully.**

L'école de Lully est une école de campagne de 8 classes (180 élèves de 8 à 12 ans) pour 13 enseignants ce qui fait environ 20 élèves par classe et rêver les enseignants français...

L'activité a duré trois mois à raison de 1 à 2 heures par semaine. Parmi les trois thèmes proposés les enseignants en ont choisi deux :

- la Terre et la Lune (jour / nuit, saisons, forme de la Terre, phases de la Lune et éclipses) ;
- tailles et distances dans le système solaire.

La réalisation du projet s'est faite en plusieurs étapes :

- formation des enseignants (2 jours) ;
- test des pré-conceptions des élèves, ce qui a conduit les enseignants à abandonner le troisième thème proposé : taille et distances dans l'Univers. En effet, ce test a fait ap-

paraître que les tailles et distances du système solaire étaient non acquises ainsi que la notion de jour / nuit (certains élèves pensent que le Soleil fait le jour et la Lune la nuit, que le Soleil et la Lune tournent autour de la Terre, que le jour le Soleil est devant la Terre et cache la Lune et que la nuit la Lune cache le Soleil) et celle de saisons (pour certains les saisons sont dues aux nuages) ;

- travail avec des modules (articulations) intégrés dans l'enseignement et surtout expérimentations et observations ;
- réalisations en vue d'une journée portes ouvertes à l'Observatoire de Genève, avec visite de l'Observatoire et observations nocturnes (600 visiteurs).

A l'issue de ce travail les enseignants ont constaté que :

- les élèves sont motivés (unanimité) ;
- les travaux avec une classe entière sont difficiles ;
- la préparations de l'enseignant est cruciale ;
- les observations sur le ciel sont difficiles (en particulier l'observation des phases de la Lune a été compliquée par le mauvais temps).

### **"Looking into the star" à l'école bilingue.**

Cette école privée accueille 71 élèves de 11 à 15 ans et 11 enseignants ce qui fait 6,5 élèves par classe et rend les enseignants français songeurs...

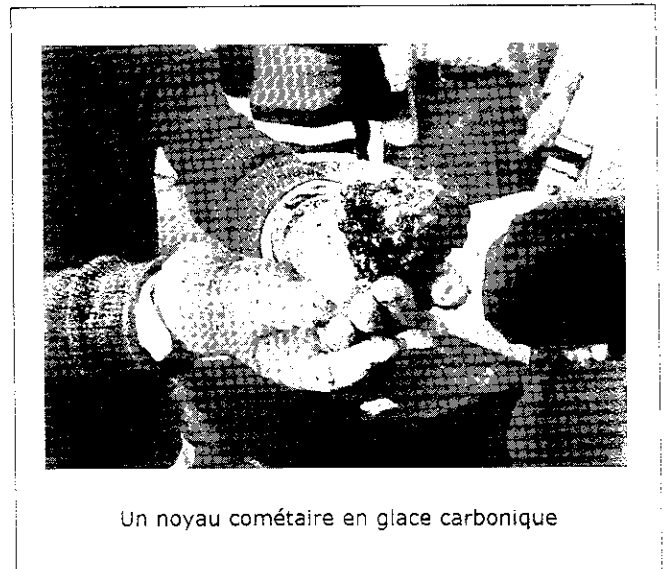
L'activité a duré une semaine de cours à temps complet, le vendredi étant consacré à une journée portes ouvertes.

Parmi les thèmes proposés tous ont été choisis sauf celui de la Lune, inabordable en 4 jours :

- le système solaire
- les impacts cosmiques
- les constellations
- les comètes
- atelier théâtre (Space Odyssey).

La réalisation du projet s'est faite de la façon suivante :

- discussions avec les enseignants (propositions de l'intervenant, mise à disposition de matériel). Didier signale que ces enseignants avaient déjà beaucoup travaillé avant la rencontre ;



Un noyau cométaire en glace carbonique

- présentation de la semaine aux élèves ;
  - travail par ateliers (5) en trois langues (français, allemand, anglais) bien qu'il s'agisse d'une école bilingue.
- Le travail s'est composé de recherches personnelles (livres, web) d'expérimentations, d'observations, de bricolages et de visites.
- préparation d'une journée portes ouvertes.

### Comparaison des deux expériences.

Le profit d'un travail sur 3 mois (Lully) est que les notions sont travaillées en profondeur et que "toutes" les notions sont abordables (par exemple sur la durée et malgré le mauvais temps l'observation des phases de la lune a été possible). L'inconvénient est que le travail est haché car les coupures sont fréquentes. Par ailleurs certains enseignants non volontaires pour ce sujet étaient réticents.

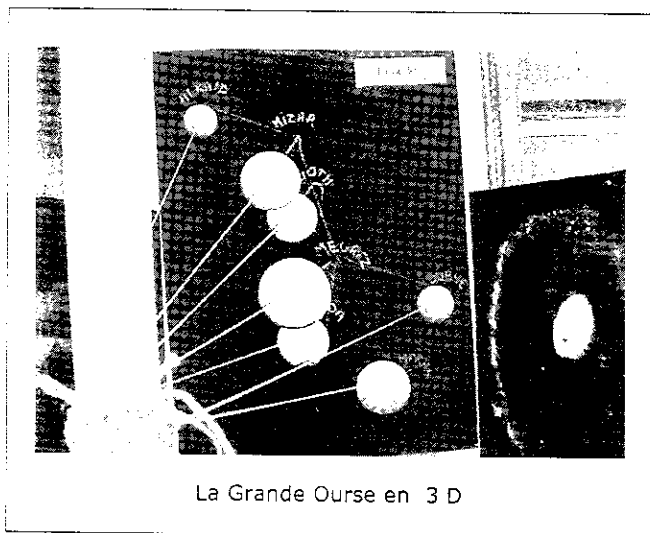
L'avantage d'un travail sur 4 jours complets permet une dynamique et une motivation extraordinaire chaque enfant travaillant à son rythme. La réussite est aussi liée aux conditions particulièrement favorables dans l'école bilingue.

Le désavantage : certaines notions sont inabordables et les activités d'observations et d'expérimentations perdent leur sens.

#### Constats :

En une semaine de projet, l'apprentissage est lacunaire et très inégal.

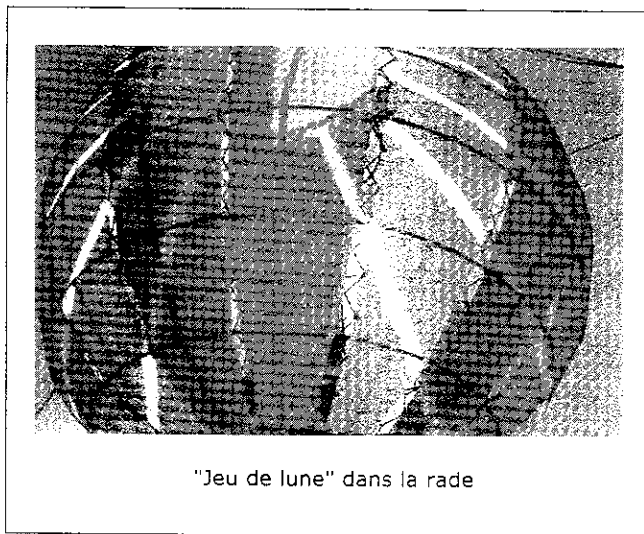
On peut donc considérer une semaine de projet comme une sensibilisation puis favoriser des activités sur le long terme : par exemple le calendrier mural à l'école de Cartigny (voir l'article "Un calendrier mural" dans ce numéro). On peut encourager l'observation du ciel et profiter de l'actualité (par exemple l'éclipse de Soleil).



La Grande Ourse en 3 D

### Jeu de Lune dans la rade de Genève.

Dans le but de parler de science au coeur de la cité et de développer de façon ludique l'intérêt du public pour la science, la Passerelle Science-Cité (incluant la LEA) a réalisé une maquette gigantesque dans la rade de Genève.



"Jeu de lune" dans la rade

Il s'agit d'une boule chatoyante de 4.5 m de diamètre représentant le Soleil et en 4 endroits sur les quais une estrade avec deux petites boules de la taille d'une balle de golf et d'une bille : la Terre et la Lune. Cette exposition représente le Soleil, la Terre et la Lune à une échelle réduite de 300 millions de fois qui respecte à la fois la taille des astres et les distances qui les séparent. En regardant à travers le trou qui traverse la Terre de part en part on observe le disque lunaire se projetant sur le disque solaire et le recouvrant complètement...

#### " Jeu de Lune" et les écoles.

Des visites guidées animées par un observateur de l'éclipse du 11 août ont bénéficié à 64 classes soit 1345 élèves. De nombreuses visites indépendantes ont eu lieu. Didier souligne l'importance de la préparation des élèves. Jeu de Lune est un bon support didactique (pour le cours de géographie par exemple).

### Conseil du CLEA 2000 :

Le conseil du CLEA a été élu à l'unanimité des 41 votants :

Agnès ACKER, Daniel BARDIN, Francis BERTHOMIEU, Martine BOBIN, Lucette BOTTINELLI, André BRAHIC, Pierre CAUSERET, Jean CHAPELLE, Frédéric DAHRINGER, Jacques DUPRE, Christian DUMOULIN, Bernadette DURJEU, Marie-France DUVAL, Jean-Luc FOUQUET, Christiane FROESCHLE, Joël GAUDRAIN, Michèle GERBALDI, Lucienne GOUGUENHEIM, Edith HADAMCIK, Jean-Claude HERPIN, Michel LAISNE, Lucette MAYER, Francis MINOT, Jean-Paul PARISOT, Jean-Claude PECKER, Claude PIGUET, Annie PINCAUT, Henri REBOUL, Jean RIPERT, Jean-Paul ROSENS-THIEL, Béatrice SANDRE, Nicole SANGLERAT, Liliane SARRAZIN VILLAS, Evry SCHATZMAN, Josée SERT, Françoise SUAGHER, Daniel TOUSSAINT, Victor TRYÖEN, Michel VIGNAND, Catherine VIGNON, Denise WACHEUX, Gilbert WALUSINSKI.

Martine Bobin. ■



**IL PLEUT DES PLANÈTES  
LE POINT ASTRO : LE TEMPS  
L'ASTRONOMIE EST UN JEU D'ENFANT  
GUIDE DES SCIENCES EXPERIMENTALES  
PLUS VITE QUE SON NOMBRE**

**Il pleut des planètes.**

Alfred Vidal-Madjar,  
Hachette Littératures, 140F

Alfred Vidal-Madjar a choisi de présenter les découvertes récentes sur les planètes extrasolaires à un public large et curieux. Le style est alerte et ne manque pas d'humour. L'auteur est passionné et fait preuve de réelles qualités pédagogiques. On appréciera ou non la personnalisation de l'ouvrage, l'auteur parlant avec chaleur et familiarité de sa famille et de ses collègues et amis.

La première partie du livre fourmille d'idées pour donner une approche intuitive des lois de la nature et fournit des éléments de culture astronomique.

Ce préambule, destiné plutôt aux néophytes conviendra parfaitement à ceux qui aiment rêver et prendre le temps de s'appropriier les notions à l'aide d'images originales faisant appel à l'intuition. Ils y découvriront une orange dans une pré (le système solaire à l'échelle), le troisième horizon (étoiles et galaxies), des vaches sphériques (simplification des modèles) des marguerites temporelles (pour aborder les notions de durée en astronomie).

L'explication du moment cinétique est savoureuse (pas de pitié dans les virages !). Par contre le chapitre de vulgarisation sur les grands nombres me laisse un peu sceptique : je ne suis pas certaine qu'aligner 45 zéros fera mieux percevoir la taille du nombre  $10^{45}$ .

Les lecteurs des Cahiers, qui sont souvent amenés à expliquer un large public les notions abordées ici, pourront puiser des idées dans cet ensemble foisonnant.

Ceux qui préfèrent aller directement

aux faits seront peut-être un peu agacés par ce début mais qu'ils poursuivent la lecture. le contenu scientifique est réel et les faits d'actualité récente abondent, agrémentés d'images de fraîche date. La recherche des planètes extrasolaires est un sujet captivant.

L'auteur présente les différents scénarios de formation d'un système planétaire en précisant le plus plausible, explique la difficulté à distinguer les petites étoiles (naines brunes) des planètes géantes dont les processus de formation sont différents.

Le télescope Hubble a permis de photographier de nombreux disques entourant des étoiles (disques protoplanétaires ?) dont la taille peut varier entre une et trente fois celle du système solaire. Un chapitre passionnant est consacré au disque de poussière entourant  $\beta$  Pictoris sur lequel l'auteur travaille depuis 1984. Ce disque proche (70 années de lumière) a la caractéristique d'être un disque évolué (d'âge 100 millions d'années) qui a perdu l'essentiel de sa masse. Les planètes semblent déjà présentes et des planétésimaux (environ 1 km de diamètre) s'entrechoquent et bombardent encore l'étoile se volatilissant en gaz avant de l'atteindre. Trois autres disques de ce type ont été découverts très récemment et permettent d'accumuler des renseignements sur cette phase de formation d'un système planétaire.

A. Vidal-Madjar explique les difficultés à observer directement les planètes extrasolaires, précise les pistes possibles et les progrès espérés au XXI<sup>e</sup> siècle avec les satellites et l'interférométrie au sol. Il fait une mise au point sur la détection d'une quinzaine de planètes observées indirectement par effet Doppler autour d'étoiles de la série principale. Il nous fait partager son enthousiasme pour les nanolentilles gravi-

tationnelles et la découverte de planètes autour de pulsars.

Enfin pour conclure se pose la question de la vie hors du système solaire : où sont-ils ? L'auteur présente son calendrier cosmique dont l'idée est de présenter la durée totale de l'Univers, étalée sur exactement un an.

Je vous renvoie à l'article de fond de ce numéro pour découvrir les conclusions qu'il en tire.

M.B.

### **Le point astro n° spécial : le Temps.**

Revue de l'Association Astronomique de Franche-Comté.

Pour fêter l'an 2000 les membres de l'AAFC ont décidé de consacrer un numéro spécial de leur revue au Temps.

En plus de l'aspect physique (mesure, définition, calendriers) certains aspects religieux et philosophiques sont abordés. Ce numéro est donc riche et très intéressant.

Ce fascicule a été réalisé par Alain Heurtel, François Meyer, Jean-Paul Parisot, Françoise Suagher et François Vernotte. Il est agrémenté de dessins et de schémas très clairs.

On y découvre :

- une histoire de la mesure du temps : le temps des astres, celui des prières, des cloches, l'invention de la seconde, le siècle de l'horlogerie et enfin les temps modernes.

- Un exposé intitulé "les ères et les styles" qui décrit les ères les plus connues et quelques styles utilisés en France). Cet article est reproduit dans ce numéro des Cahiers avec l'aimable autorisation de la rédaction.

- Une histoire des calendriers.

- Une description des échelles de temps modernes (Temps Universel, Temps des éphémérides, Temps atomique et Temps des pulsars). Ces nouvelles horloges cosmiques que sont les pulsars millisecondes seront peut-être à long terme plus stables que les horloges atomiques à jet de césium ce qui permettrait aux astronomes de redevenir les gardiens du temps.

- Un chapitre historique qui nous révèle tout sur "l'an 0" et sur les conjectures relatives à "l'étoile des rois mages".

- La fréquence des vendredi 13.

- Une histoire des horloges mécaniques d'après Hans von Bertele.

- Une évocation historique et philosophique sur les notions de temps et d'éternité où l'on traite plus particulièrement des réflexions de Plotin, Saint-Augustin et Boèce.

Note : on peut se procurer cette revue en écrivant à l'Association astronomique de Franche-Comté, 34 avenue de l'Observatoire 25000 Besançon, et en joignant un chèque de 60 F (50 F pour la revue et 10 F de frais de port).

Martine Bobin.

Les deux recensions suivantes, ont été écrites par Eric Lindeman et sont parues dans le Bulletin d'information bibliographique pour les maîtres de l'enseignement secondaire (n°113 : décembre 1999). Université de Lausanne ; groupe de travail astronomie et enseignement secondaire.

### **L'astronomie est un jeu d'enfant.**

Mireille Hartmann

Ed. Le Pommier, Paris 1999. 206 p. : 120 F.

Et si une fois on parlait d'autre chose que d'un livre sérieux pour grandes personnes ? D'un ouvrage destiné aux tout petits, par exemple ?

L'auteure a longtemps enseigné en maternelle, elle connaît donc bien le langage des petits et, de plus, elle sait manifestement les captiver. Ce petit ouvrage ne traite "que" du Soleil, de la Terre et de la Lune. Il apporte quelques connaissances théoriques simples indispensables à l'enseignant et surtout fourmille de suggestions et d'idées d'expériences faciles à réaliser et parlantes qui font comprendre les mouvements du Soleil, les saisons sur la Terre ou les différents éclairage des phases de la Lune. Le ton entraînant et gai séduira les enseignants et les parents qui tenteront l'aventure.

Vivifiant !

E.L.

### **Guide des sciences expérimentales.**

#### **Méthodes et démarches.**

Jocelyne Page, Gilles Boisclair et Richard Mathieu.

Ed. De Boeck Université, Bruxelles 1999. 200 p. : 180 F.

Aucune astronomie dans cet ouvrage... mais une excellente introduction à des savoir-faire et à des méthodes indispensables pour en aborder sérieusement l'étude. C'est un livre qui nous vient du Québec, un pays qui a toujours une longueur pédagogique d'avance.

Il se veut un ouvrage de référence portant sur la notion d'observation au sens large et aussi un guide accompagnant les élèves dans l'apprentissage des notions de base associées aux sciences expérimentales, sans discerner forcément biologie, chimie ou physique, les exercices concernant par ailleurs les trois matières.

Comme cet ouvrage remarquable a non seulement la prétention d'expliquer le "comment faire" mais qu'en plus il met l'accent sur le "pourquoi faire ainsi", il nous entraîne vers la compréhension des mathématiques sous-jacentes indispensables. Sujets mathématiques trop souvent flous dans l'esprit de nos élèves, car jamais vus dans un esprit pragmatique dans les cours spécifiques.

Notons d'autre part que les moyens informatiques actuels ne sont pas oubliés ; en effet, nombreux sont les exemples dans lesquels les tableurs (Excel) sont utilisés.

Eric Lindeman.

### **Plus vite que son nombre.**

Sylviane Gasquet-More

Seuil. Collection Science Ouverte. 98 F.

L'astronomie nous habitue à utiliser des nombres hors du commun pour évaluer distances, vitesses ou dates en cosmologie par exemple. La difficulté à imaginer les ordres de grandeur correspondants nous rend plutôt prudents et modestes dans leur utilisation. Au contraire, la pub, les mé-

dias divers, les débats politiques nous submergent de "chiffres" et de pourcentages qu'ils assènent comme autant de vérités révélées.

En 48 chapitres indépendants et très courts, Sylviane Gasquet -More démonte avec humour et pertinence les erreurs qui s'y glissent parfois, les manipulations que cela suppose aussi.

En 4<sup>e</sup> de couverture, le sous-titre de l'ouvrage "déchiffrer

l'information" est même interprété comme "dé-chiffrer" l'information pour devenir des "consommateurs de chiffres avisés".

Une lecture toujours agréable, une réflexion bien utile sur la validité de certains pourcentages, d'autant paraît-il qu'ils ont une large place dans le nouveau programme de math de seconde.

Catherine Vignon. ■

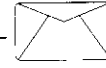
Notes de l'article de la page 17 :  
l'astronomie dans les programmes  
de seconde .

1 - On donne ici une formulation simplifiée de la loi de Titus-Bode: la distance d'une planète au Soleil, en u.a., est  $d_n = 0,3 \times 2^n$  ( $n = 0$  pour Mercure,  $n = 1$  pour Vénus,  $n = 4$  pour les astéroïdes,  $n = 5$  pour Jupiter etc...).

2 - Cette loi de variation avec la distance traduit le fait que l'énergie émise chaque seconde par le Soleil se propage de façon isotrope à la vitesse de la lumière dans le vide (on néglige l'influence du milieu interplanétaire). Lorsqu'elle atteint la planète de distance  $x$ , elle se trouve uniformément répartie sur la sphère centrée sur le Soleil, de rayon  $x$  et de surface  $4\pi x^2$ . Chaque unité de surface en intercepte la fraction  $1 / 4\pi x^2$ .  
D'où la loi en  $1 / x^2$ .

3 - La constante solaire est la puissance reçue par unité de surface orientée perpendiculairement à la direction du Soleil ; elle vaut  $1350 \text{ Wm}^{-2}$ .

4 - le TP décrit ici permet de montrer que la puissance reçue par unité de surface terrestre dépend de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol ; elle varie avec la latitude du lieu, la date et l'heure. Elle est maximale, en un lieu donné, à midi le jour du solstice (d'été dans l'hémisphère Nord, d'hiver dans l'hémisphère Sud).  
La notion de climat zonal est beaucoup plus complexe : elle fait intervenir une intégration dans le temps, qui tient compte en particulier de la durée du jour (cf. TP n° 3).



## Questions-réponses.

A propos de l'article de Pierre Causeret : Lavabos, Coriolis et rotation de la Terre (CC n° 88), Jacques Vialle nous écrit :

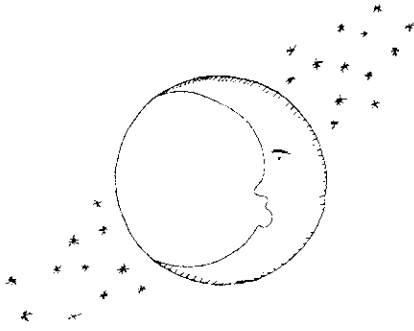
"je ne suis pas convaincu par l'article sur la preuve de la rotation de la Terre par ...les lavabos. D'une part, l'eau est un liquide difficile à calmer. D'autre part, bassines et lavabos sont des matériels biaisés parce que ce sont des droitiers qui les nettoient (préférentiellement dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) et parce que les machines et les moules qui servent à les fabriquer fonctionnent toujours dans la même sens. Enfin, la masse d'eau et l'échelle de temps (un lavabo se vide en quelques dizaines de secondes) sont beaucoup trop courts pour que la force de Coriolis ait le temps d'agir. Je ne conteste pas les résultats de la manip mais je pense qu'il faut chercher une autre explication pour la déviation préférentielle du fillet d'eau. Pour l'anecdote, lorsqu'elle était en mission dans l'Océan Indien, ma fille n'a rien remarqué de particulier sauf une réprimande de son commandant pour gaspillage des réserves d'eau du bateau !"

Réponse de Pierre Causeret à Jacques Vialle :

"Les réserves de Jacques Vialle sont tout à fait légitimes. Et je ne suis pas du tout certain du rôle de l'accélération de Coriolis puisque je parlais dans l'article d'un possible défaut des récipients. J'ai quand même essayé de les limiter en essayant par exemple de poncer le trou percé de manière radiale et non en tournant. Mais c'est une perceuse (tournant dans le sens indirect) qui m'a permis de faire ce trou. On peut aussi imaginer que la bassine reposant sur deux tasseaux était légèrement vrillée... Bref, l'expérience est délicate. C'est pour cela que j'ai voulu la répéter plusieurs fois et avec plusieurs récipients. Deux bassines sur trois m'ont quand même donné un sens de rotation direct 9 fois sur 10, la troisième, avec un trou plus grand, me donnant un écoulement radial.

Pour conclure, on peut dire que l'affirmation disant que les lavabos se vident dans le sens direct dans l'hémisphère Nord est une légende puisqu'on ne laisse jamais reposer l'eau suffisamment longtemps. Par contre, il ne me paraît pas impossible que mon expérience permette de déceler l'accélération de Coriolis. Je pense toujours que la meilleure vérification serait de refaire la même expérience dans l'hémisphère Sud, à une latitude suffisamment basse, avec la même bassine. Il faudrait être je pense plus au Sud que le tropique du Capricorne pour que l'accélération de Coriolis ne soit pas trop faible. La Nouvelle Zélande ou le Sud de l'Amérique pourrait convenir. Y aurait-il des lecteurs des cahiers Clairaut intéressés par l'expérience dans ces lointaines contrées ?"





## La masse manquante des galaxies spirales serait-elle simplement celle de l'hydrogène moléculaire ?

Lucette Bottinelli

Des observations directes de la molécule d'hydrogène moléculaire obtenues grâce au satellite ISO, dans le disque de la galaxie spirale NGC 891, indiquent une composante très étendue dans le disque et dont la masse serait assez élevée pour résoudre le problème de la masse manquante des galaxies spirales.

### La matière sombre des galaxies.

Le fait qu'une part importante de la masse des galaxies (de l'ordre de 9 / 10) existe sous une forme sombre - on parle aussi de masse invisible ou de masse non lumineuse - au-delà de leur limite optique, est bien établi. Cela a été révélé en particulier à partir de l'observation de courbes de rotation - dites "plates"- des galaxies spirales ; en effet, cette courbe de rotation qui donne la vitesse de rotation circulaire  $V(r)$  à une distance  $r$  du centre du disque reste pratiquement constante lorsque l'on atteint les régions externes des galaxies jusqu'à leur limite visible. En utilisant la loi de la gravitation universelle, la masse  $M(r)$  de la galaxie contenue jusqu'à la distance  $r$  du centre, est donnée par la relation suivante :  $M(r) = r V(r)^2 / G$  où  $G$  est la constante de la gravitation universelle. Ainsi, dans les régions extérieures où la vitesse de rotation reste constante,  $M(r)$  augmente proportionnellement à  $r$  alors que la puissance lumineuse rayonnée  $L$  correspondante, reste pratiquement constante ; le rapport  $M/L$  augmente avec  $r$  et atteint des valeurs bien supérieures aux valeurs des populations stellaires classiques (qui sont de l'ordre de 4 en unités solaires). Toutes les méthodes de détermination des masses des galaxies et des arguments de nature cosmologique sur la formation primordiale des éléments légers, conduisent à la même conclusion : il existe une composante de matière non lumineuse, de nature ordinaire, qui serait dix fois plus abondante que la matière visible. C'est en cela que l'on parle du problème de la "masse manquante".

Une galaxie spirale est constituée d'étoiles, de gaz interstellaire et de poussières. La contribution des poussières à la masse totale est très faible ; celle du gaz

interstellaire est de l'ordre de quelques 10%. Il faut noter que cette valeur repose sur des études nombreuses et détaillées de galaxies en raie 21 cm qui conduisent à la mesure de la masse totale d'hydrogène neutre atomique  $M_{HI}$  de la galaxie. Comme l'hydrogène est le constituant très prépondérant du gaz interstellaire, on peut assimiler  $M_{HI}$  à la masse du gaz interstellaire, en supposant que pratiquement tout l'hydrogène se trouve à l'état atomique neutre (noté HI). En fait, une très faible partie de l'hydrogène se trouve sous forme ionisée, seulement au voisinage immédiat des étoiles très chaudes ; mais une autre partie est sous forme moléculaire, dans les vastes espaces froids et denses que sont les nuages moléculaires. C'est cette dernière composante que les observations en infrarouge ont permis de mesurer directement pour la première fois à l'échelle d'une galaxie.

### L'hydrogène moléculaire.

L'association  $H_2$ , de deux atomes d'hydrogène, constitue la molécule la plus abondante du milieu interstellaire devant la molécule CO et toute une variété de molécules organiques détectées, à partir de 1963, par leurs raies d'émission, particulièrement dans le domaine radio. La molécule  $H_2$  n'est pas facile à mettre en évidence car elle ne possède pas de transition conduisant à l'émission de photons facilement détectables. La première détection de  $H_2$  remonte à 1970, grâce aux premières observations spatiales dans l'UV qui ont permis de déceler une bande d'absorption à la longueur d'onde de 105 nm due à  $H_2$ , dans le spectre de certaines étoiles situées derrière des nuages contenant de l' $H_2$ .

Dans le milieu interstellaire, le rayonnement ultraviolet des étoiles dissocie très facilement l'hydrogène moléculaire en deux

atomes d'hydrogène : ainsi la molécule  $H_2$  se trouve essentiellement dans les nuages interstellaires contenant de la poussière, là où celle-ci agit comme un bouclier protecteur contre le rayonnement UV des étoiles. De plus, on sait que la surface des grains de poussière agit comme un catalyseur chimique pour favoriser la formation de la molécule  $H_2$ . Il y a donc une étroite association entre  $H_2$  et les nuages interstellaires riches en poussière. Cela implique qu'il y a une forte extinction de la lumière d'une étoile située derrière un nuage moléculaire et l'observation d' $H_2$  ne serait pas possible en courte longueur d'onde pour les nuages les plus denses. Par contre, le rayonnement infrarouge (et surtout le rayonnement radio) est beaucoup moins affecté par l'extinction et permet d'étudier directement ces régions moléculaires denses.

La molécule  $H_2$  ne possède pas de transition lui permettant d'émettre de la lumière dans le domaine radio (là où le milieu interstellaire est le plus transparent), au contraire de la plupart des molécules interstellaires. Avant le lancement du satellite ISO, seule l'émission de  $H_2$  dans les parties centrales de quelques galaxies actives et ultralumineuses en infrarouge avait été possible dans des raies autour de la longueur d'onde de 2,1 mm et notre connaissance de la quantité de  $H_2$  dans les galaxies était tout à fait incertaine.

En 1996, une première détection de  $H_2$  a été faite à partir de raies émises dans l'infrarouge plus lointain, observées par ISO, aux longueurs d'onde  $\lambda_1 = 28,2 \mu\text{m}$  et  $\lambda_2 = 17,0 \mu\text{m}$ , dans la région centrale de la galaxie spirale NGC 6946 qui est une galaxie plus riche en gaz et en étoiles jeunes que notre Galaxie.

### L'observatoire spatial infrarouge ISO.

Rappelons simplement que l'Observatoire spatial infrarouge ISO (Infrared Space Observatory) de l'ESA (European Space Agency) a été lancé en novembre 1995 ; prévu pour un fonctionnement de deux années il a terminé sa mission au printemps 1998. Le premier grand sondage en infrarouge réalisé par le satellite IRAS pendant 10 mois, en 1983, avait permis de faire un premier relevé systématique et de me-

surer les flux de centaines de milliers de sources infrarouges du ciel (cf CC 27, p. 37, 1984). ISO, constitué d'un télescope de 60 cm refroidi, a réalisé une avancée spectaculaire dans la compréhension physique du ciel infrarouge, grâce à son équipement sophistiqué de systèmes photométriques et spectroscopiques couvrant une très large bande allant de  $2,5 \mu\text{m}$  à  $240 \mu\text{m}$ . En particulier, l'accès à l'infrarouge lointain - IRAS fonctionnait aux quatre longueurs d'onde : 12, 25, 60 et  $100 \mu\text{m}$  - a permis à ISO de déceler un maximum d'émission du milieu interstellaire des galaxies spirales, autour de  $170 \mu\text{m}$ , de résoudre des images de galaxies spirales à  $200 \mu\text{m}$  et d'en déduire l'existence d'une composante très étendue (au-delà du disque des étoiles) de poussière froide (température des grains de l'ordre de 18-21 K) et parfois même très froide (température des grains de l'ordre de 10 K) dans le disque de ces galaxies.

### Les observations de la galaxie NGC 891.

NGC 891 est une galaxie spirale classique, de même type que la nôtre, relativement proche de nous, située à une distance de 9,5 Mpc (soit 31 millions d'années de lumière environ) dans la direction de la constellation d'Andromède. Son disque se présente sur le ciel vu par la tranche et la concentration de poussière le long du grand axe y est particulièrement bien visible sur les photographies. Le fait que le disque soit vu par la tranche est un facteur très favorable : en effectuant des mesures le long du grand axe on atteint le maximum de densité de matière rencontré le long de la ligne de visée ; en effet celle-ci traverse le disque sur toute sa longueur.

Les observations ont été effectuées avec le spectromètre SWS ("Short-Wavelength Spectrometer") d'ISO, aux deux longueurs d'onde,  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  en plaçant la fente à 8 positions différentes le long du grand axe allant de 11 kpc au nord à 8 kpc au sud du noyau de la galaxie, avec une pose de 25 minutes pour chaque position. Pour chaque position et chaque fréquence, un signal a été détecté avec un rapport signal sur bruit meilleur que 5. Au total on dispose de 16 profils de raie donnant la densité de flux observée en fonction de

la longueur d'onde au voisinage de  $\lambda_1$  et de  $\lambda_2$ .

La rotation circulaire dans le disque de la galaxie se traduit par un décalage Doppler-Fizeau qui affecte la longueur d'onde du pic de la raie observée en chaque position du grand axe. On en déduit une variation systématique de la vitesse radiale en fonction de la distance au centre allant environ de 300 à  $700 \text{ km s}^{-1}$ , de l'extrémité nord à l'extrémité sud du grand axe, autour de la valeur  $500 \text{ km s}^{-1}$  au centre ; cette dernière valeur traduit la vitesse radiale d'ensemble de la galaxie. Ces résultats sont en bon accord avec la cinématique déduite des observations en CO et en HI. Les observations fournissent également, la distribution radiale le long du disque, des flux intégrés de chaque profil de raie : elles indiquent une variation systématique différente pour chaque raie, que l'on peut comparer à la distribution de HI et de CO.

### Une composante très massive d'hydrogène moléculaire.

L'analyse détaillée de ces résultats met en jeu une modélisation de l'excitation de la molécule  $H_2$  à partir d'un choix de paramètres (température, densité, description des niveaux de la molécule) pour décrire le disque  $H_2$  assimilé à une simple couche plane uniforme. En particulier, on en déduit par comparaison aux observations, les caractéristiques du milieu moléculaire et la masse d' $H_2$ . C'est cette analyse qui a conduit à la mise en évidence d'une composante massive (de température 80-90 K) qui domine le disque dans ses parties externes avec une masse qui est de l'ordre de 5 à 15 fois la masse d'HI. Ce résultat est bien sûr à rapprocher de celui mentionné précédemment, concernant également la présence d'une composante très froide et très étendue de poussière dans le disque des spirales classiques.

Cette estimation ouvre la perspective d'une explication de la "masse manquante" uniquement à partir de matière non lumineuse (sous forme d'hydrogène moléculaire) du disque, sans nécessité d'invoquer de la matière invisible dans le halo. Néanmoins des questions restent encore à préciser compte tenu de la complexité de la physique du milieu interstellaire. ■

# Documents pour les fiches CLEA BELIN

DCB

20 exemplaires  
(70 F-65 F)

## Transparents animés pour rétroprojecteur

(55 F-50 F)

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

T 2 Les fuseaux horaires

## Filtres colorés

FCR

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

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

## DIAPPOSITIVES

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

# Publications du CLEA

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



**Chèques à l'ordre du CLEA**

## Les fiches d'activité pédagogiques du CLEA

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

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

## Cours polycopiés d'astrophysique

(Maîtrise de l'université  
Paris XI-Orsay)

**P1**

Astrophysique générale  
(63 F)

**P2**

Processus de rayonnement  
(30 F)

**P3**

Structure interne  
et évolution des étoiles  
(35 F)

**P4**

Astrophysique solaire  
(35 F)

## CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 2000

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

Abonnement aux **CAHIERS CLAIRAUT**  
ET cotisation au CLEA pour 2000 190 F

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

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

**COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT** des années antérieures :

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

Adresser adhésions,  
abonnements ou commandes à

**CLEA** Catherine Vignon  
21 rue d'Anjou  
92 600 Asnières

Chèque à l'ordre du CLEA

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

**Publications...**

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

#### Publication du planétarium de Strasbourg

LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes :

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

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

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

dépot légal : 1<sup>er</sup> trimestre 1979  
numéro d'inscription CPPAP : 61660  
Prix au numéro : 45 F