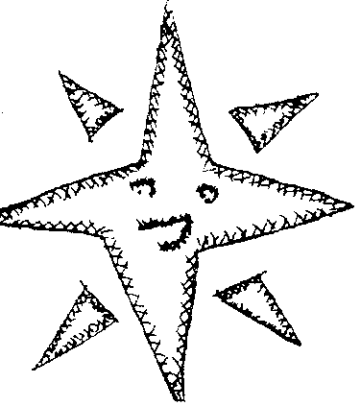


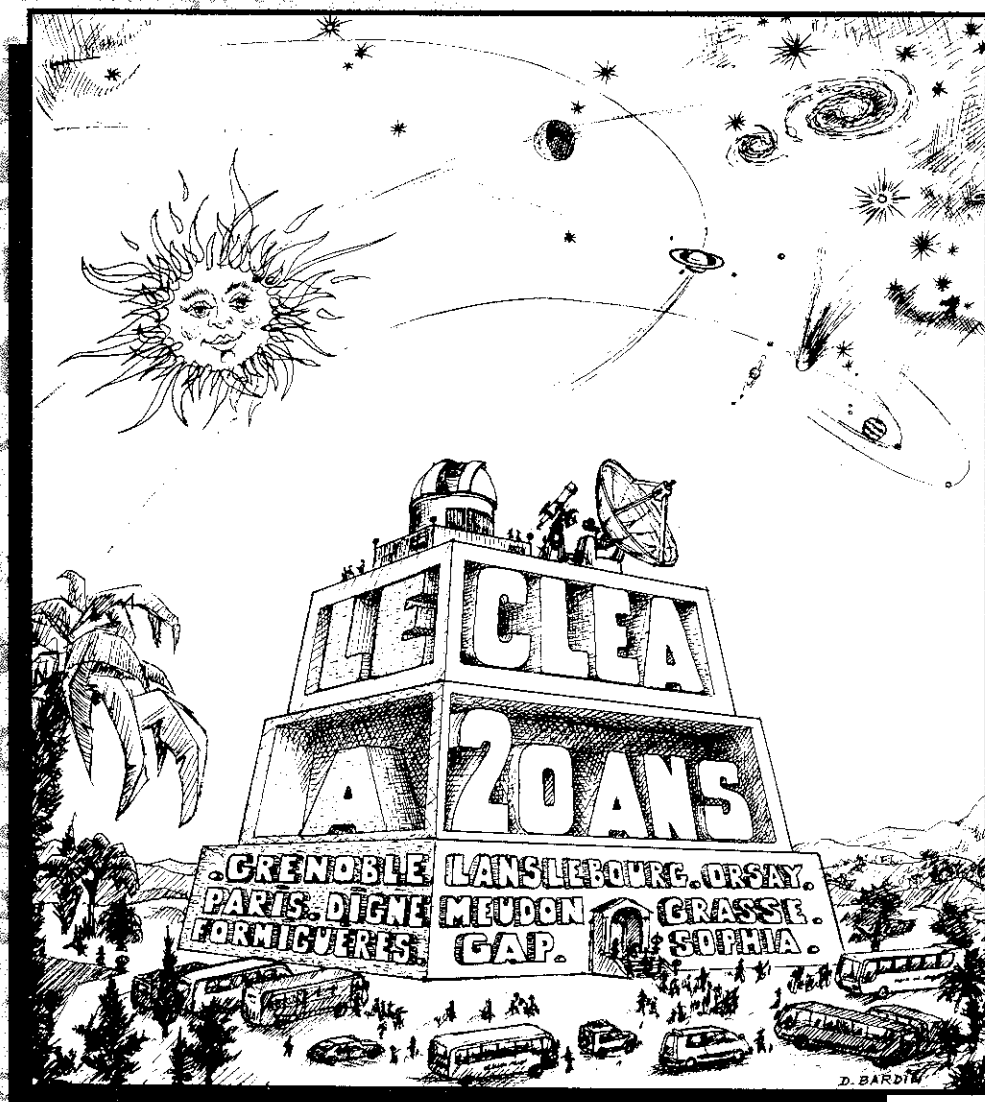


bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lectures
pour la marquise

et ses
Hist
Ré
d'o
Ar
for
Réfle
deb
Info
élèves
Vie
Tex
exerc



Articles de fond
Les potins de la Voie lactée

numéro 81 - PRINTEMPS 1998

Comité de liaison enseignants et astronomes

Le CLEA

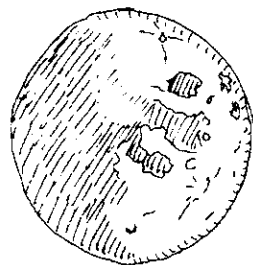
Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire.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

de la formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAFPEN. 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.



PUBLICATIONS DU CLEA p.C et p.D

Bureau du CLEA pour 1998

Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER
Evry SCHATZMAN

Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents

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

Secrétaire

Martine BOBIN

Trésorière-Secrétaire

Catherine VIGNON

Daniel Bardin
Francis Berthomieu

Martine Bobin

Michel Bobin

Lucette Bottinelli

Pierre Causeret

Jacky Dupré

Michèle Gerbaldi

Lucienne Gouguenheim

Christian Larcher

Georges Paturel

Jean Ripert

Jean-Paul Rosenstiehl

Daniel Toussaint

Michel Toulmonde

Gilbert Walusinski

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Conception et réalisation de la mise en page : Sophie Durand

EDITORIAL

Voici donc la nouvelle maquette annoncée ! Nous attendons votre avis, vos suggestions.

Depuis l'AG de Saint-Etienne, nous avons reçu des articles intéressants et variés, de quoi remplir au moins deux numéros. Cette richesse nous permet d'équilibrer les choix entre les différentes rubriques. Nous nous réjouissons du dynamisme du CLEA, dont nous profitons tous.

Nous publions la fin du bel article de Jean-Claude Pecker sur le Soleil ; Gilbert fait le rapprochement, inhabituel, entre deux démarches : celle de la réforme des maths modernes et celle de l'élaboration du CLEA. Michel Van Haute nous propose un joli TP pour observer le Soleil depuis Mercure. Marie-Agnès Lahellec et Pierre Le Fur nous racontent leurs expériences pédagogiques en 1^{ère} S et en classe prépa dans le cadre d'un TIPE. Quant à Pierre Causeret, il nous dévoile les secrets de fabrication de son globe spécial Saisons à destination des élèves de collège ou du primaire. Lucette a déniché dans "Europhysics News" un texte intéressant sur le télescope de Lord Rosse. Et bien sûr, incontournables, les Potins, qui s'étoffent, les lectures pour la Marquise, et les informations sur la vie associative. Un grand merci à tous les auteurs et à Daniel dont le nouveau dessin de couverture est une véritable rétrospective des 20 ans du CLEA.

Claudette Rosenstiehl a partagé la vie du CLEA depuis sa fondation. Elle vient de nous quitter, emportée par une maladie cruelle. Nous conservons le souvenir de sa discrétion, de son ouverture et de la qualité des relations qu'elle savait nouer. A Jean-Paul, nous disons la part que nous prenons à sa peine, et l'amitié que nous lui portons.

La Rédaction

les Cahiers Clairaut

Printemps 1998 n°81



Article de fond

La classe au Soleil

p. 2



Pédagogie

L'enseignement des sciences et la culture

p. 9



Travaux pratiques

Rétrogradation du Soleil dans le ciel de Mercure

p. 14



Réalisations d'objets

Globe spécial Saisons (primaire et collège)

p. 17



Avec nos élèves

Eurosat (MPST)

p. 20

Rétrogradation de Mars (1^{er} S)

p. 22

Histoire

Le Grand Télescope de Lord Rosse

p. 25



Lectures

pour la Marquise

p. 29



Vie associative

Soleil en Guadeloupe

p. 35

A.G. de EAAE

France p. 36



Les potins de la voie lactée

p. 38

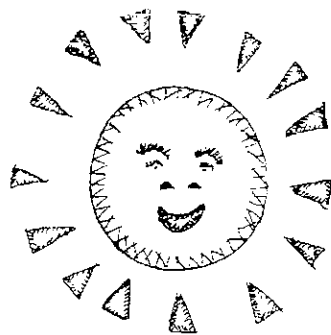


Information

Le "Millenium Star Atlas"

p. 40





La classe au Soleil

Jean-Claude Pecker

suite et fin

Le Soleil sphère gazeuse

Donc le Soleil nous apparaît d'abord comme une sphère gazeuse, d'une certaine température (en moyenne 5770 K) dans les couches superficielles. Observation : (car on peut faire des images grossières du Soleil avec un carton percé d'un trou plaqué sur la fenêtre d'une chambre obscure...) le disque du Soleil est assombri à son bord. Qu'est ce que cela veut dire ? Que la température augmente quand on s'enfonce dans le Soleil ; en effet, au bord du disque solaire, le regard pénètre tangentiellement, donc pas profondément ; au centre du disque, il pénètre plus profondément. De plus, cette énorme boule pèse sur ses régions centrales ; elles sont tassées, denses et chaudes.

La physique des sphères gazeuses est connue depuis un siècle. On peut calculer température et pression au centre du Soleil ; et on en déduit le taux des réactions thermonucléaires, pour peu qu'on examine en détail (fig. 6) celles qui permettront effectivement à 4 noyaux d'hydrogène de se fondre en un noyau d'hélium. Les calculs ne sont pas simples, pas pour les élèves de lycée en tout cas... ; mais ils n'impliquent que de la physique très classique. Et on trouve ainsi, au centre du Soleil, une masse volumique de 160 g.cm^{-3} , une température de 15 millions de degrés. Et on calcule,

entre centre et surface, un "modèle" solaire (fig. 7). Cette masse sphérique est dominée par l'écrasement imposé par les forces de gravitation qui tassent en quelque sorte la matière du Soleil autour de son centre... Dans ces régions intérieures du Soleil, ce sont les seules forces qui agissent réellement.

Le Soleil magnétique et nous

Le modèle du Soleil est dominé, nous l'avons dit, par le tassement qu'entraînent les forces de gravitation, au sein de l'énorme masse solaire. Mais cette masse n'est pas une simple boule de gaz en train de s'effondrer. Le rayonnement issu du centre la soutient, la stabilise... Elle tourne autour de son axe en 27 jours environ.

De plus, l'énergie, produite seulement en ses régions centrales, là où la température est assez grande, à l'intérieur d'une sphère de rayon assez faible, (1/10 du rayon solaire environ : le "noyau" central) est évacuée vers l'extérieur de différentes façons :

Sous forme d'abord de rayonnement : ce rayonnement de très haute énergie d'abord, successivement absorbé, réémis, absorbé, réémis, ... par les atomes, des milliers et des milliers de fois, finit par sortir, non pas diminué en quantité, mais fortement dégradé.

En effet, la lumière, (au sortir du noyau central : rayons γ et rayons X) s'est progressivement appauvrie en rayonnements de haute énergie, et enrichie en rayonnements ultraviolets, visibles, infrarouges, et émerge finalement comme le rayonnement (observé) du Soleil, source de grande surface (100 fois celle du noyau)

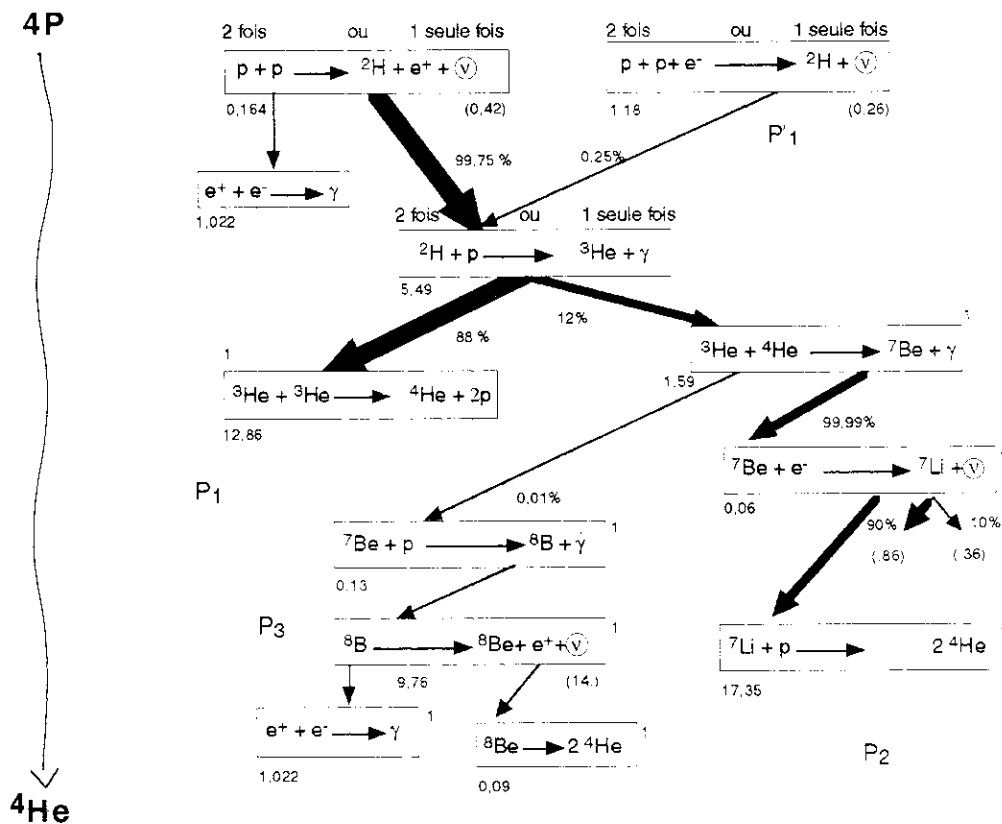
mais de température assez basse, 5770 K. (fig. 7).

Sous forme mécanique : en effet, certaines régions du Soleil, dont on peut démontrer l'instabilité, sont en mouvement constant, entre environ 70 % du rayon et l'extérieur : une partie de l'énergie véhiculée se trouve alors sous forme de mouvements con-

vectifs de matière, bien décelables sur les clichés de la granulation solaire.

Sous forme magnétique : enfin, comme, semble-t-il, tout astre en rotation, le Soleil est un énorme aimant, et possède un champ magnétique, dont on peut mesurer l'intensité en tous points de la surface solaire.

Fig. 6
Les diverses chaînes de réactions thermonucléaires se déroulant dans le cœur solaire



La fig. 2 (c.f. CC 80) décrit schématiquement la seule chaîne P1 de réactions. Mais si c'est la plus fréquente des chaînes de réaction se produisant, ce n'est pas la seule. Les flèches sont d'autant plus épaisses que la probabilité (indiquée en %) de la réaction est plus forte. Si le mélange stellaire contient déjà des noyaux d'hélium, la réaction P2 ou la réaction P3 peuvent se produire aussi, P2 étant beaucoup plus probable que P3. P1 peut aussi avoir lieu à la place de P1 avec une probabilité minime (0,25 %). Les nombres qui sont indiqués autour des différents rectangles représentant les collisions et leurs effets désignent :

- en haut : le nombre de fois où la réaction intervient dans une chaîne (ceci est pour P1 explicité sur la fig. 2)
- en bas à gauche : l'énergie produite (véhiculée par les photons et les neutrinos) exprimée en MeV
- en bas à droite : l'énergie véhiculée par tel neutrino particulier.

On voit que P2 et P3 produisent des neutrinos beaucoup plus énergétiques que P1.

La mesure des flux de neutrinos de différentes énergies est donc une façon de sonder la région thermonucléaire de l'étoile et de vérifier que les probabilités indiquées sont correctes (elles dépendent de l'âge du Soleil, de sa température et de la densité du cœur solaire).



Fig. 8 : Le Soleil est notre Soleil

Le Soleil joue avec nous ; il se joue de ses planètes, environnées de vent solaire, plongées dans les flots de rayonnement et de particules plus ou moins énergétiques qu'il nous envoie. Nous, Terre, Jupiter, Pluton... nous appartenons, humbles planètes, au système solaire ; nous faisons partie du Soleil !

Dans la chromosphère, et plus encore dans la couronne, ce sont les forces associées au champ magnétique qui commandent, et qui peu à peu l'emportent sur celles associées au champ gravitationnel.

Cet épanouissement extérieur du champ magnétique est associé à la formation des **taches magnétiques**, le plus souvent bipolaires, (petit aimant assez intense dans le grand aimant solaire). Ces taches sont elles-mêmes en quelque sorte amenées à la surface par les mouvements convectifs, à partir d'une région interne où le champ magnétique est très élevé... Mais restons encore à la surface : les taches, leur épanouissement, à la surface solaire (facules), dans la chromosphère (éruptions, protubérances), dans la couronne (structures magnétiques), manifestent en quelque sorte l' "**activité**" du Soleil. Or, si le flux de rayonnement est pratiquement constant, l'activité magnétique est extrêmement variable.

Cette activité, mesurée autrefois par le nombre de taches solaires visibles, mais aujourd'hui par une quantité d'indices d'activité, liés aux observations (en satellite) du rayonnement corpusculaire, ou à l'intensité de la couronne, est variable sur plusieurs échelles de temps.

Rapide, au voisinage d'une tache, c'est l'explosion brutale d'une éruption. En une heure, le gaz est devenu incandescent, sur des dizaines de milliers de kilo-

mètres, ses structures se tordent : c'est le champ magnétique, qui, dans le passage d'une situation instable à une autre plus stable, a libéré une grande quantité d'énergie. Des protons, des électrons, sont éjectés souvent à de grandes vitesses, parfois accélérés encore par les champs magnétiques ou la couronne.

Si les éruptions sont associées à une libération d'énergie magnétique, les protubérances, en revanche, ne sont qu'un marqueur du magnétisme, en quelque sorte. Matière éjectée par la surface solaire, au voisinage des taches, cette matière est guidée par les arches du champ magnétique. Les protubérances sont associées à une énergie assez faible, bien plus faible que celles des éruptions. Elles servent en quelque sorte de marqueur des champs magnétiques de la couronne, où elles évoluent gracieusement.

Dans les régions de la couronne, où les champs magnétiques accélèrent les particules chargées, électrons ou protons, et produisent des jets ionisés très rapides (1/3 de la vitesse de la lumière parfois !), c'est l'observation en rayons X, ou dans le domaine de la radioastronomie qui permet d'observer toutes sortes de sursauts rapides du rayonnement radioélectrique, du millimètre au décimètre de longueur d'onde... Ces sursauts sont aussi des indicateurs de l'activité solaire rapide...

Mais l'ensemble de phénomènes actifs, à commencer par les taches, sont sujets à une variation dont la période est d'à peu près onze ans, tantôt plus, tantôt moins. Et deux "**cycles**" successifs nous montrent des polarités différentes ; une fois le Soleil est un aimant dont le pôle positif (signe "+") est voisin du pôle de rotation nord ; onze ans après, c'est un signe "-" qui caractérise le magnétisme de l'hémisphère nord du Soleil. Les lois en sont bien connues depuis plus d'un siècle...

Ce qu'il est important de noter, c'est que cette activité solaire variable, qui n'affecte qu'une faible fraction de l'énergie produite par le Soleil affecte beaucoup la vie sur Terre. Les particules de moindre énergie, mettent deux à trois jours pour nous parvenir ; elles s'enroulent sur les lignes de force du champ magnétique de la Terre, et produisent les aurores bipolaires, les variations du champ géomagnétique... Les plus énergétiques percent le casque magnétique qui protège la Terre, et partout arrivent au sol, et provoquent des orages géomagnétiques. L'activité solaire influence le climat, et même la météorologie semble-t-il... On retrouve cette influence à travers les statistiques de pluviosité, ou la structure de régions terrestres à haute et basse pression, ou encore les anneaux de croissance des arbres...

Il nous faudrait bien sûr, décrire le cycle d'activité, avec ses aspects solaires (migrations de la zone d'apparition des taches solaires vers l'équateur, évolution de la distribution d'intensité sur la surface, etc...), et sous ses aspects terrestres, géomagnétisme, aurores, climat... (fig. 8 et 9). Il nous faudrait ...20 à 22 ans, la durée d'une "migration" ! Venons-

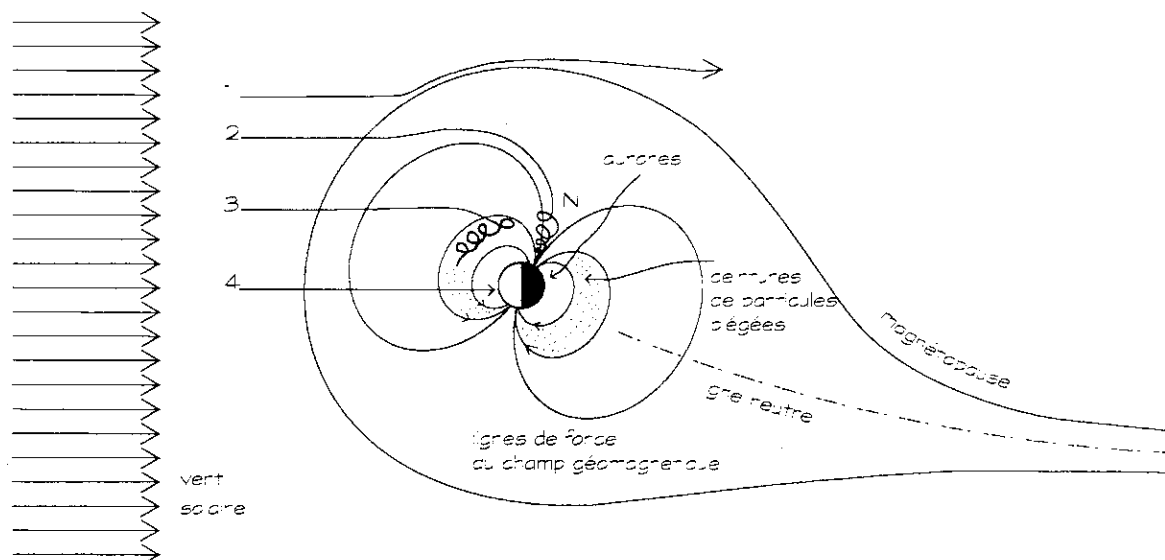
en à des aspects plus modernes de la physique solaire.

Sonder l'intérieur du Soleil ?

Il semble parfois que le Soleil soit une étoile trop bien connue pour justifier les travaux de nombreux astronomes. On parle beau-

coup plus (notamment dans la presse), du Big-Bang, ou de la Grande Unification, ou plus modestement des titanesques explosions des quasars... Or, de nombreuses recherches, dans les vingt ou trente dernières années ont ouvert deux domaines totalement nouveaux : l'héliosismologie, d'une part ; et d'autre part la neutrino-astronomie.

Fig. 9
Le Soleil et le champ magnétique de la Terre



Le vent solaire se caractérise par la variété d'énergie des particules qu'il nous envoie, protons et électrons pour la plupart. Ce flot de particules varie avec le temps, souvent très rapidement, en fonction de l'activité de la surface solaire. On décèle des sursauts brutaux, mais aussi une variation régulière d'une périodicité de 11 ans environ qui sépare deux maxima successifs d'activité magnétique du Soleil.

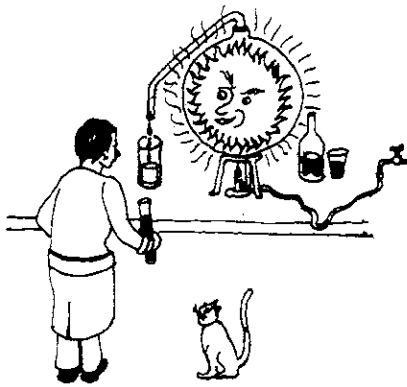
Les particules les moins énergétiques (1), les plus lentes, sont détournées par le "bouclier" magnétique (magnétopause) de la Terre (lié au champ magnétique terrestre).

Les particules d'énergie moyenne (2) s'enroulent sur le champ terrestre, et arrivent sur Terre au voisinage des pôles magnétiques. Leur arrivée dans l'atmosphère terrestre provoque deux zones aurorales, celle des aurores boréales, celle des aurores australes. La lumière y est produite vers 80 km d'altitude, par la recombinaison des électrons du vent solaire avec les ions de l'atmosphère terrestre, ions d'azote ou d'oxygène. Elles sont aussi à l'origine des fluctuations du magnétisme terrestre, et probablement de variations météorologiques et climatiques, à plus long terme. Ces particules mettent deux à trois jours pour parcourir la distance entre le Soleil et la Terre.

Les particules d'énergie un peu plus faible (3) n'arrivent pas au sol. Elles sont piégées par les zones ionisées de Van Allen, ou "ceintures de particules piégées", à très haute altitude au-dessus du sol.

Enfin, les particules très énergétiques (4) liées aux éruptions les plus violentes mettent moins d'un jour, parfois seulement une ou deux heures pour arriver au voisinage terrestre. Elles pénètrent sans mal l'atmosphère et ont des effets immédiats sur le géomagnétisme, sur certaines conditions météorologiques aussi sans doute.

Fig. 10



Le Soleil est un laboratoire idéal

Idéal ! et sans danger pour l'astronome, le physicien, le géophysicien.

Si bien que le Soleil, comme il l'a toujours été, reste un laboratoire idéal de physique, d'astrophysique, de géophysique même (fig. 10).

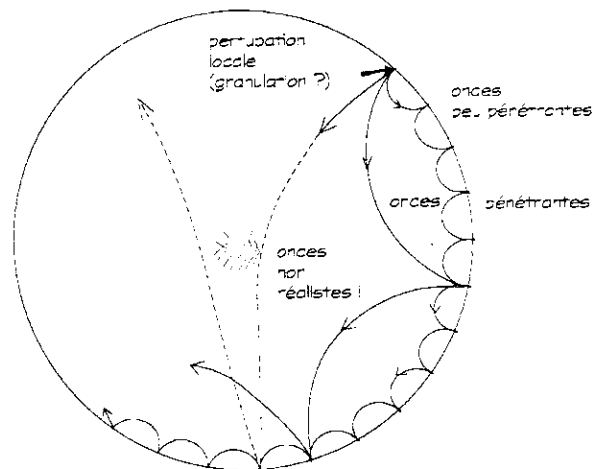
Les événements qui affectent la surface solaire (simplement la granulation, symptôme de mouvements convectifs aboutissant aux régions de la surface), comme les craquements locaux de la croûte terrestre, engendrent des **ondes sismiques**, qui se propagent à la vitesse du son dans la masse solaire (fig. 11), comme dans la Terre. De même que l'analyse des signaux sismiques nous renseigne sur la distribution de la densité à l'intérieur de la Terre, sur les discontinuités de structure de notre globe, les signaux sismiques du Soleil, où l'on peut détecter par analyse harmonique, des dizaines de milliers (!) de modes oscillants, nous renseignent sur la vitesse du son dans les régions profondes, d'autant plus profondes que l'on étudie des harmoniques d'ordre plus bas. Et de cette donnée, on déduit la profondeur de la zone convective. Les "modes" d'oscillation sont affectés par la rotation de l'astre : là aussi, l'analyse per-

met de montrer que, au-dessous de la zone convective, (environ 70% du rayon solaire), il n'y a pas de rotation différentielle ; le Soleil profond tourne comme un solide, la zone convective seule est affectée par la rotation différentielle. Cette nouvelle discipline exige une observation continue du Soleil, donc des réseaux internationaux associant des équipes de différents pays en différents sites bien distribués en longitude.

Les ondes sismiques se réfléchissent sur les couches profondes du Soleil ; les harmoniques d'ordre le moins élevé se réfléchissant sur les couches les moins profondes... Mais elles n'atteignent pas le noyau de l'étoile et ne permettent donc pas de le "sonder".

La neutrino-astronomie en revanche, permet d'accéder au noyau de l'étoile Soleil. Les réactions thermonucléaires, qui, au bout du compte, transforment 4 noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium, produisent, on l'a dit, de l'énergie. Une partie de cette énergie est véhiculée par des "photons de lumière" (rayons gamma), une autre par des particules de masse très faible, les **neutrinos**, prédits naguère (Pauli, 1930) par la théorie, qui sont très difficiles à observer (on les découvrit en 1956 seulement) car ils traversent pratiquement tout sans se manifester. La réaction la plus fréquente dans le Soleil produit, à partir de quatre noyaux d'hydrogène, un noyau d'hélium, 4 photons et deux neutrinos (fig. 6).

Fig. 11 : Sismologie solaire



A la surface du Soleil, la matière solaire monte, descend... Ici et là, des ébranlements sont provoqués et se propagent dans la masse solaire, à la vitesse du son. En raison de la forte densité des couches profondes, les ondes ainsi produites s'y réfléchissent. Selon l'ordre de ces ondes (à plus ou moins grande longueur d'onde, plus ou moins petite fréquence) elles pénètrent plus ou moins profondément. L'étude de la surface solaire, qui vibre comme une peau de tambour, nous informe sur les propriétés de toutes ces ondes, donc, indirectement, sur la variation de la vitesse du son dans la masse solaire, et par suite sur la distribution des densités et des températures dans le Soleil. La sismologie solaire permet de sonder l'intérieur du Soleil comme la sismologie terrestre permet de sonder l'intérieur de la Terre.

En réalité, les choses sont un peu moins simples, car plusieurs réactions peuvent en fait se produire impliquant notamment les atomes d'hélium déjà formés. Mais le compte ci-dessus est à peu près exact. L'énergie véhiculée vers l'extérieur du Soleil par les neutrinos est du même ordre de grandeur que celle véhiculée par les photons de lumière. Chaque seconde, ce sont des milliards de neutrinos solaires qui traversent ma main tendue...

Mais les neutrinos ne s'arrêtent pas. Ils mettent 8 minutes, pour venir du Soleil, pratiquement à la vitesse de la lumière. Nous pouvons mesurer leur flux, grâce à des réservoirs immenses, enterrés pour les protéger des autres rayonnements corpusculaires, d'origine cosmique ou terrestre. Ces réservoirs contiennent en effet des atomes, (chlore par exemple), dont certains isotopes, sensibles à l'impact d'un neutrino d'énergie suffisante, produisent d'autres isotopes détectables par divers moyens ; ainsi le ^{37}Cl , l'isotope principal du chlore, devient-il un isotope de l'argon après avoir été heurté par un neutrino ; cet argon, gazeux, est dosé, dans un courant d'hélium qui l'entraîne, en sortie du réservoir de composant chloré. On en déduit le nombre de neutrinos qu'un cm^2 de surface terrestre exposée reçoit en un mois.

Ces mesures se font depuis une trentaine d'années par différents procédés. Les premières mesures indiquaient un déficit de 2/3 par rapport aux quantités de neutrinos produits par le noyau solaire, selon des calculs du taux des réactions nucléaires, dans le cadre du "modèle" usuel du noyau solaire ; cette énorme différence a diminué un peu avec de nouvelles mesures, et de nouveaux modèles du noyau solaire. Mais elle existe encore. Faut-il l'attribuer en partie

à certaines propriétés du neutrino ? ... C'est bien possible... Mais c'est une des questions qui restent un peu mystérieuses. N'en doutons pas ; que ce soit du côté de la physique des neutrinos ou de l'astrophysique du modèle solaire, la solution de ce genre de problèmes est proche.

Et la suite ? Soleil et étoiles

Toute une série de développements de la physique solaire est en cours. Mais les résultats des observations sont étonnants et souvent encore incompréhensibles. Donnons-en, simplement, quelques exemples.

Le cycle solaire ne s'est pas toujours comporté comme il semble aujourd'hui. Ainsi, au XVII^{ème} siècle, a-t-on noté l'absence presque complète d'activité pendant plus de 50 ans. C'est ce qu'on appelle "le minimum de Maunder", qui a semblé-t-il, entraîné un petit âge glaciaire sur la Terre. D'après les archives historiques (laissées par Picard, La Hire et d'autres astronomes du XVII^{ème} siècle), la rotation du Soleil était plus lente, la rotation différentielle moins accentuée, le diamètre solaire plus grand. Ces mesures anciennes semblent assez convaincantes, même en faisant la part de la difficulté de calibration de ces mesures.

La luminosité du Soleil, observée à travers "la constante solaire" (quantité d'énergie reçue par cm^2 de surface normale aux rayons solaires et par seconde) est variable. Elle est en phase avec l'activité mais en opposition de phase, semble-t-il, avec le seul rayonnement infrarouge. C'est sans doute à cause de la redistribution sur la surface solaire de l'énergie lumineuse rayonnée, qui évite les taches magnétiques, voire les ré-

gions de magnétisme notable comme les régions polaires. Or, nous sommes presque localisés dans le plan de l'équateur solaire : les régions polaires, vues par nous de biais, ont donc un "poids" très faible dans le rayonnement global que nous observons alors qu'elles pèsent plus dans le rayonnement global du Soleil. Mais encore faut-il confirmer ces données et affiner l'interprétation théorique.

Pourquoi le diamètre solaire semble-t-il, comme le suggèrent fortement les mesures de Francis Laclare, être corrélé avec l'activité solaire ?

Pourquoi le flux de neutrinos (observé par Davis aux USA) semble-t-il associé aussi à l'activité solaire ? Comment les régions responsables de l'activité influencent-elles les régions centrales du Soleil, ce "noyau" où sont générés les neutrinos ?

L'aérosismologie, toute jeune, a déjà montré des oscillations dans diverses étoiles, les δ Scuti par exemple. Elles ne sont pas complètement interprétées.

Des étoiles, trop lointaines, il ne faut pas s'attendre à observer les neutrinos. Pourtant l'explosion, observée en 1987 dans le Grand Nuage de Magellan a entraîné un flux intense de neutrinos, que les observateurs terrestres pensent avoir décelé et mesuré. Là encore, le théorie est loin d'être achevée.

Soleil et étoiles sont en vérité des machines fort compliquées. Il y a là un immense champ de recherche pour les jeunes chercheurs, physiciens et astronomes...

Note de la rédaction

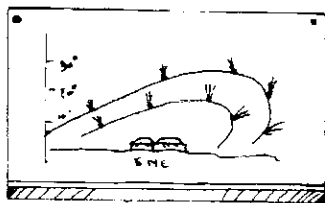
Cet article est l'occasion de lire ou de relire les ouvrages de Jean-Claude Pecker sur le Soleil :

"Sous l'étoile Soleil", Fayard (c.f. CC 28)

"Le Soleil est une étoile"

Explora-Press Pocket

"L'avenir du Soleil", Hachette (c.f. CC 52)



L'enseignement des sciences et la culture

Gilbert Walusinski

Un enseignement des sciences peut-il être culturel ? Nous savons qu'un enseignement trop enfermé dans les richesses d'une discipline risque de ne toucher qu'une minorité d'esprits. Relevé par des méthodes actives un enseignement scientifique rénové actualisé, débouche naturellement sur une culture vivante.

Un professeur à qui des autorités administratives reprochaient les libertés qu'il prenait avec le programme officiel, se justifiait ainsi : " *...je n'ai pas voulu me contenter d'un cours uniquement pratique, car il y a, pour le maître, une obligation supérieure à celle de préparer strictement les matières d'un examen : c'est de porter à un degré plus élevé l'éducation générale de ses élèves; et de donner des motifs d'exaltation à leurs personnalités naissantes.*" (Roger Martin du Gard, Jean Barois). En face de mes élèves de lycée, je me suis souvent interrogé ; en me tenant trop étroitement à la préparation du baccalauréat, n'ai-je pas souvent manqué l'occasion de prolonger la simple éducation mathématique que je pouvais donner en une vraie formation culturelle ?

Les planètes ont leur rythme de révolution autour du Soleil, les destinées humaines également. Je découvre avec surprise, faute d'y avoir jamais pensé, une période d'environ vingt ans dans le cours de ma carrière d'enseignant : la première, 1935-55, fut celle des années d'apprentissage du métier avec les perturbations d'époque ; la seconde, 1955-76, fut surtout occupée par le mouvement dit (faussement) des mathématiques

modernes et de ses répercussions pédagogiques ; la troisième, 1976-97, est celle qui a vu la naissance et la prospérité du CLEA.

Cela me fait découvrir une parenté cachée entre les déclenchements et les motivations de ces deux mouvements : la réforme de l'enseignement scolaire des mathématiques, la promotion d'un enseignement élémentaire de l'astronomie. Certes ces deux mouvements furent et sont indépendants l'un de l'autre ; ils sont d'ailleurs décalés dans le temps. Je souhaite que le rapprochement que j'en fais n'incitera personne à porter le jugement qu'il porte sur l'un à l'autre. D'autant que le mouvement des mathématiques modernes (MM en abrégé) est aujourd'hui si décrié (à mon avis injustement) qu'il semble souvent n'avoir plus de tenants, alors que le CLEA reste bien vivant. Mais c'est dans leurs origines et dans leurs motivations que je vois leur parenté qui me paraît significative. Rappelez-vous ce que disait Alain " *l'état naissant, où j'ai beaucoup à deviner et à suivre*" Grande ressemblance des deux mouvements à l'état naissant, ressemblance moins frappante dans l'évolution ultérieure en raison de la spécificité des deux disciplines, mais je reste persuadé

qu'une grande parenté subsiste. J'espère savoir, en fin de cet article, en dégager les raisons.

Au départ, la constatation que la discipline scientifique considérée - mathématiques ou astronomie - est bien vivante et l'idée que l'enseignement qui en est donné n'est pas à la hauteur des progrès de la discipline. Constat et réflexion qui sont le fait d'un ensemble d'enseignants exerçant à divers niveaux des enseignements scolaires ou supérieur. Insistons sur cette double conviction : que les progrès de la discipline au niveau supérieur doivent profiter à l'enseignement plus élémentaire et que les progrès de cette formation scolaire sont indispensables pour donner toute sa valeur, toute sa portée aux progrès de la discipline. De plus, dans un cas comme dans l'autre, il y a eu des équipes - là de mathématiciens, ici d'astronomes - disons de spécialistes de l'enseignement supérieur qui ont su donner vie aux deux mouvements de réforme. Il faut personnaliser ce récit parce que les responsabilités sont personnelles.

L'enseignement des mathématiques

En 1955, autour de GUSTAVE CHOQUET, dans le cadre de l'Institut Poincaré de la Faculté des Sciences de Paris, l'idée prend corps d'une série de conférences destinées aux professeurs de mathématiques des lycées et collèges. L'organisation est conjointement celle de la Société Mathématique de France (SMF) et de l'Association des Professeurs de Mathématiques de l'Enseignement Public (APMEP). Les conférenciers, tous bénévoles, font amphithéâtres comblés (alors qu'au cours de l'organisation, il y

avait des sceptiques) : Henri Cartan, Paul Dubreil, Gustave Choquet, André Lichnérovicz, Pierre Lelong, Léonce Lesieur, André Revuz, pour ne citer que les conférenciers de la première année. Le soutien de l'APMEP se traduit aussi par la publication des conférences dans son Bulletin dont les sommaires s'en trouvent enrichis grâce à l'aide discrète mais efficace de notre regrettée collègue Lucienne Félix. La deuxième année, les conférences portèrent sur la topologie avec les mêmes conférenciers auxquels se joignirent Jacques Dixmier, Jean-Pierre Serre et Laurent Schwartz. La réunion des textes des deux séries de conférences dans une monographie de L'Enseignement Mathématique, la revue de Genève, élargit aux publics européens la diffusion de l'idée de rénovation pendant que les militants de l'APMEP organisaient des colloques de discussion et d'échanges sur les manières dont pouvaient évoluer les pratiques enseignantes. Cela se traduisait par la mention "*de la maternelle à l'université*" sur le Bulletin de l'association qui avait jusque là surtout regroupé des professeurs de lycée ; il apparaissait alors clairement que si l'enseignement mathématique devait être rénové, il ne suffisait pas qu'il le soit dans les classes préparatoires à l'École Polytechnique, mais à tous les échelons et en attachant même la plus grande importance à l'enseignement élémentaire. La réalisation se heurtait, non seulement à la résistance des tenants de la tradition ("on a toujours su enseigner le calcul sans utiliser les notions ensemblistes"), mais encore plus à la non formation des maîtres. La revendication principale devint pendant plusieurs années l'organisation officielle de la formation continue des enseignants, l'organisation

bénévole de type "chantiers de pédagogie mathématique" ne pouvant toucher qu'une minorité de convaincus (on y fit pourtant du bon travail, j'en reste persuadé). Après de longues résistances officielles, la revendication aboutit en 1968 avec la création des premiers Instituts de Recherche sur l'Enseignement Mathématique (IREM) dont la mission était double : développer toutes les formes de formation continue des enseignants en liaison avec les recherches pédagogiques.

Ce mouvement a été fort décrié par un public mal informé et largement intoxiqué par des polémiques comme savent en mener certains esprits conservateurs surpris dans leur engourdissement. Même si les réalisations, au niveau des programmes d'enseignement, n'ont jamais été à la hauteur de ce que souhaitaient les initiateurs, il est assez remarquable que l'idée de la nécessité d'une formation continue des enseignants semble désormais acquise, l'existence des Missions Académiques de Formation du Personnel de l'Education Nationale (MAFPEN) l'atteste.

Il est aussi remarquable que le mouvement tel qu'il s'est développé en France bénéficia aussi d'exemples étrangers, des échanges fructueux s'étant ainsi noués avec les équipes de Willy Servais en Belgique, de Caleb Gattegno en Grande Bretagne, de Emma Castelnuovo en Italie, de Sofia Krigowska en Pologne, de Hans Freudenthal aux Pays-Bas...

Un mouvement avait donc été amorcé, lancé ; il ne parvint certes pas à atteindre tous ses buts ambitieux, en particulier il manqua gravement ses buts vis à

vis de l'école élémentaire, mais on ne peut plus nulle part enseigner les mathématiques comme si le mouvement MM n'avait pas eu lieu.

L'enseignement de l'astronomie

En 1976, c'est autour de l'équipe du laboratoire d'astronomie de l'université d'Orsay animée par Lucienne GOUGUENHEIM que fut organisée la journée sur l'enseignement de l'astronomie aux niveaux scolaires, dans le cadre du Congrès de l'Union Astronomique Internationale (UAI) qui se tenait, cette année-là, à Grenoble. Là encore, l'initiative venait de professeurs de l'enseignement supérieur frappés de l'inculture astronomique du citoyen ordinaire et qui souhaitaient donc y remédier grâce à une importante promotion de l'enseignement élémentaire de l'astronomie à tous les niveaux.

Une forme d'enseignement d'initiation avait existé sous l'intitulé de "cosmographie" dans les classes terminales du lycée. Je serais le dernier des ingrats si je méprisais ce que cet enseignement pouvait apporter. Sans doute ai-je eu la chance d'avoir à ce niveau un professeur qui savait, à partir des matériaux de n'importe quel programme imposé, faire "lever la pâte" et c'est motivé par cet enseignement que je pris un premier contact avec l'Observatoire de Meudon... en 1932. Mais confier cette initiation aux professeurs de mathématiques impliquait une préférence aux questions de repérage et de mesure du temps par rapport aux questions d'astrophysique qui prenaient, en astronomie, une importance primordiale. De plus, cet enseignement ne touchait que

les élèves de Terminale des lycées, ignorait donc les élèves du technique et, défaut majeur, laissait en friches la curiosité naturelle des plus jeunes enfants. On oubliait le rôle premier, fondamental, de l'observation en astronomie. L'évolution des programmes de mathématiques devait entraîner la suppression pure et simple du chapitre cosmographie avec remplacement d'un enseignement généralement sclérosé par l'absence totale de toute initiation à l'astronomie, d'où l'inculture constatée.

La journée de Grenoble ne pouvait manquer de faire le procès de cette situation déplorable mais non désespérée. L'équipe d'Orsay avait réussi en effet à rassembler aussi bien des astronomes professionnels inquiets de l'état des lieux, des astronomes venant de Belgique, de Suisse, du Canada, de Pologne et de nombreux enseignants des collèges ou des lycées qui avaient l'expérience des clubs d'astronomie. Après le procès, vint naturellement la présentation des réalisations effectives ; comment à partir d'observations simples, d'exercices variés, dont la fabrication de petites maquettes, des professeurs de diverses disciplines savaient répondre à la demande de jeunes enthousiastes. Oui, de telles réalisations sont possibles quand des enseignants motivés en prennent l'initiative. Mais comment obtenir la multiplication des clubs ? Tout en reconnaissant la portée des réalisations dues au bénévolat, la généralisation doit dépasser ce stade d'organisation. L'obstacle suivant est alors la non formation des enseignants à ces nouvelles tâches. Les conclusions du colloque se résumaient donc en deux phrases :

1) importance de l'initiation astronomique dans la formation

scientifique et culturelle de la jeunesse.

2) nécessité de commencer par compléter la formation des enseignants.

Les enseignants et astronomes réunis le 2 septembre 1976 à Grenoble ne se contentèrent pas de voter cette résolution finale (à destination des autorités de l'Education Nationale dont on sait qu'elles ont coutume de longuement réfléchir avant de ne pas passer aux actes). Ils donnèrent donc mission à l'équipe d'Orsay de prouver le mouvement en organisant, dès l'été 1977, une première école d'été d'astronomie. Ce fut l'école de Lanslebourg, du 17 au 24 juillet 1977 dont les 70 participants gardent le réjouissant souvenir (pas seulement les réveils en musique mais les cours, les travaux pratiques, les observations nocturnes). L'équipe d'Orsay, avec Lucienne, Lucette, Michèle, Jacky et Francette assurèrent l'organisation de façon parfaite avec le renfort, pour les conférences théoriques de André Brahic, Suzy Collin, Ludwik Celnikier et Jean-Paul Zahn. Le succès de l'école d'été dépassa toutes les espérances et le mérite en revient principalement à l'équipe organisatrice qui sut créer dès l'ouverture un climat convivial de travail et de recherche originale. Les conférences donnèrent l'information de base, les travaux pratiques permirent à tous les participants et de s'instruire et de faire profiter les collègues de leur toute fraîche expérience.

Lanslebourg lança vraiment le mouvement. Il fallut éditer le compte rendu de l'école d'été ; tous les participants réclamèrent le renouvellement de l'expérience et après Lanslebourg, ce furent les écoles de Digne, de Tarbes, de Grasse, de Formiguères, de Gap

avec le relais des écoles organisées par l'équipe d'Agnès Acker dans les Vosges, ou par l'équipe de Marie-France Duval dans le Vaucluse. Mouvement lancé, donc à entretenir ce que devait faire le bulletin de liaison des CAHIERS CLAIRAUT et l'association déclarée du CLEA. Le changement de nom des écoles d'été en "universités d'été" ne signifiait pas que les participants se montaient le col mais que l'organisation purement bénévole du début avait acquis du poids vis à vis de l'Education Nationale et entrait dans le cadre enfin reconnu de la formation continue des enseignants prolongée au cours de l'année scolaire par les stages MAFPEN.

Et la culture ?

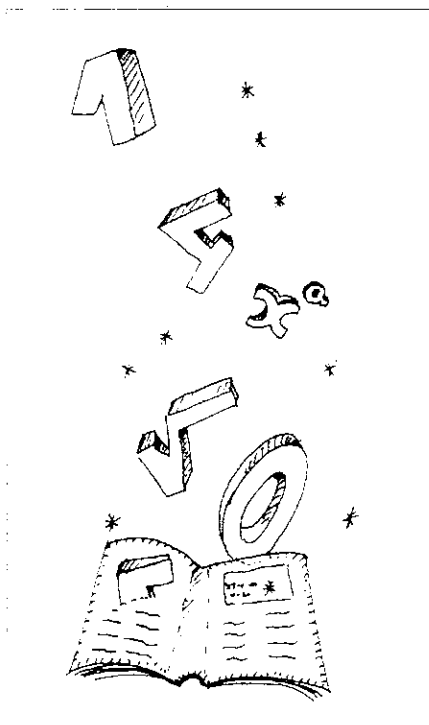
- Soit, je comprends que tout cela vous a beaucoup intéressé, a beaucoup compté dans votre existence professionnelle. Mais vous annonciez en titre, L'enseignement des sciences et la culture et vous nous racontez l'histoire de deux mouvements de rénovation qui sont très différents l'un de l'autre. On ne voit pas le rapport avec la culture.

- C'est que je me suis mal exprimé. Je prétends que ces deux mouvements, dans la mesure où ils ont conduit (ou conduisent) à un enseignement rénové de leur discipline offraient (ou offrent) des conditions propices à l'élargissement de l'enseignement disciplinaire en enseignement culturel. Ce que je voudrais maintenant tenter d'expliquer.

Un enseignement culturel

Il faut commencer par préciser ce que j'entends par enseignement culturel.

Dans un sens, tout enseignement l'est. Celui de l'apprenti menuisier qui se familiarise avec le bon usage de la varlope et du rabot est riche de connaissances acquises directement sur les variétés de bois et leur façonnage. L'apprentissage du dessin à la Maternelle donne aux mioches un nouveau moyen d'expression qui surprend par l'ampleur de ses réalisations et par sa portée, en particulier pour l'apprentissage de l'écriture. Deux exemples, entre mille, sur des enseignements disciplinaires qui sont évidemment culturels.



Il y a aussi des enseignements disciplinaires qui ne le sont pas, c'est fréquemment le cas des enseignements répétitifs. La caricature en fut longtemps donnée par ce que les professeurs de mathématiques appelèrent la "trinomite", une maladie qui sévissait au temps de mon premier bachot et qui consistait à poser par tous les bouts des problèmes sur les trinômes du second degré. On pouvait avoir une très bonne note

en ignorant jusqu'à leurs noms d'Alembert et Galois, ne parlons pas de leurs écrits. On objectera que même si un tel enseignement était rébarbatif (et le fait est qu'il ne me découragea pas d'aimer les mathématiques), il avait l'avantage de maîtriser sa technique. Mais c'était sans ouverture sur les grands problèmes de l'algèbre et de l'analyse, sans lien avec les autres sciences. La fonction homographique était enseignée sans lien avec la loi des gaz parfaits.

Justement parce que MM et le CLEA aboutirent à de nouveaux programmes, ils placèrent (ils placent) les enseignants dans la situation inconfortable et fructueuse d'avoir à penser à neuf leur enseignement. Et pas de rénovation des contenus sans rénovation didactique. On ne rejette rien des acquis antérieurs (on continuera à savoir résoudre les équations du second degré). La vieille cosmographie nous donnait les moyens de bien expliquer et même de calculer les éclipses (mais on donnait de si bonnes explications qu'il paraissait presque superflu d'observer le phénomène). En commençant par l'observation plutôt que par l'explication, on prend l'étude dans le sens de l'histoire, dans le sens de l'acquisition des explications, ce qui donne à l'observation du phénomène toute sa portée culturelle.

Un enseignement disciplinaire accroît sa valeur culturelle en mettant l'élève dans les conditions de la genèse et du développement des notions. C'est donc ouvrir la classe aux apports de l'actualité, aussi bien celle d'hier que celle d'aujourd'hui. Importance par conséquent des applications pratiques de la science théorique étudiée ainsi que des données historiques sur son

développement. Ce qu'Alain vantait sous le nom "d'état naissant". En fait plutôt qu'état (situation établie) je préférerais devenir. Bien connaître les lois de Kepler, certes ; il faut savoir s'en servir dans maintes occasions ; mais revenir longuement sur les recherches, les calculs, les maladresses de Kepler au cours de sa recherche donne à ses lois leur place qui est magnifique dans l'histoire de la culture humaine.

Grâce à la recherche pédagogique

Il y a donc un lien étroit entre recherche pédagogique et souci culturel de l'enseignement. J'en vois la confirmation historique dans les exemples suivants.

Celui des classes nouvelles conçues dans les années cinquante par Gustave Monod, alors Directeur du Second degré au MEN. Ce fut une des rares réalisations fidèles aux suggestions du plan Langevin-Wallon. Une classe nouvelle était animée par une équipe réduite d'enseignants menée par un professeur principal. Des stages préparatoires avaient motivé des enseignants volontaires et des stages périodiques entretenaient un mouvement général favorable aux méthodes actives. Sous la direction de François Goblot, la revue *Les Cahiers Pédagogiques* favorisa échanges et recherches entre enseignants dans un climat coopératif très voisin de celui que tentent de réaliser les *Cahiers Clairaut*. François Goblot et Jean Delannoy son successeur sont aujourd'hui disparus mais ils ne sont pas oubliés de tous ceux à qui ils donnèrent le goût de la recherche pédagogique.

A la même époque, dans le cadre des contacts internationaux du mouvement MM, je fis la

connaissance de Caleb Gattegno. Ce mathématicien qui travaillait au niveau universitaire avait acquis la conviction que dans tout enseignement, les premiers pas sont les plus importants. A ce titre, l'invention du matériel des "nombres en couleurs" par l'instituteur belge Georges Cuisenaire, l'enthousiasma. Ce matériel, à première vue, rudimentaire, était constitué par des parallélépipèdes de bois découpé de tailles précises en longueur allant de 1 à 10 cm et coloriés de façon intelligente. Cuisenaire n'était pas mathématicien, la pratique seule de l'enseignement avec ses élèves l'avait guidé. Gattegno, lui, était mathématicien ; il sut donner à cette invention - aujourd'hui tombée dans l'oubli, ce qui est un pur scandale - toute sa portée : faire de l'apprentissage du calcul élémentaire un véritable acte culturel au lieu des serinements et répétitions qui sont trop souvent infligés aux petits enfants.

Le mouvement Freinet est sans doute le meilleur exemple de ce que peuvent apporter les mouvements pédagogiques. On sait qu'au départ, l'idée de Célestin Freinet de l'imprimerie à l'école lui fut en quelque sorte imposée par la fatigue du métier pour le rescapé qu'il était des gaz asphyxiants de la première grande tuerie. La pratique de la classe unique conduisait aussi à l'individualisation des approches. L'oeuvre de Freinet a dépassé le cadre du mouvement qu'il anima ; l'Institut coopératif de l'École Moderne, ainsi que sa revue *Le nouvel Educateur* et les fameux fascicules BT en témoignent.

La recherche historique

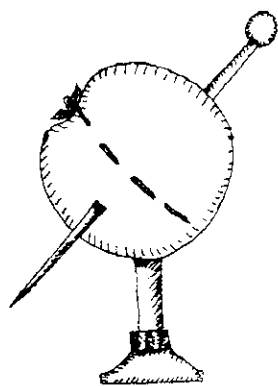
Recherche ou innovation pédagogique vont de pair avec

recherche historique. Aucun enseignant n'a la prétention d'avoir inventé tout ce qu'il enseigne. L'histoire des découvertes et des inventions, c'est le passé actualisé dans la classe, avec la portée formatrice des exemples bien choisis. Comme élève, j'ai eu un professeur de mathématiques qui ne manquait pas, le 17 février, de rappeler qu'en l'année 1600, à cette date, Giordano Bruno périssait brûlé vif sur le Campo Fiori de Rome pour n'avoir pas voulu renier ce qu'il pensait de l'univers infini.

Introduire la dimension historique dans l'enseignement d'une discipline scientifique n'est pas incompatible avec la rigueur justement cherchée. Au contraire, c'est un des moyens de faire comprendre les voies diverses de l'acquisition du savoir. Depuis toujours, dans les études de lettres, de la philosophie ou des langues anciennes ou modernes, les caractères historiques de leurs développements sont mis en lumière. Rares sont les bacheliers qui ignorent les démêlés de Molière avec les bigots de son temps ou les aventures de Chateaubriand dans le grand nord canadien alors que les mêmes lycéens ne savent pas toujours placer chronologiquement dans le bon ordre Laplace et Lagrange par rapport à Voltaire et Condorcet. Il y a, en histoire des sciences, chez beaucoup d'élèves, d'aussi graves lacunes qu'en astronomie...

J'ai voulu plaider pour un enseignement culturel. Cela m'a entraîné à vanter une nouvelle fois les méthodes actives. N'était-ce pas inévitable ?





Rétrogradation du Soleil dans le ciel de Mercure

Michel Van Haute

Lors de la préparation d'un groupe de travail sur la durée du jour mercurien (un jour mercurien vaut deux années mercuriennes), une courbe dessinée dans Le grand atlas de l'astronomie Universalis (p. 64) m'avait intrigué. Elle représente la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel de Mercure. On y constate, lorsque Mercure est proche de son périhélie, une rétrogradation du Soleil (cf. figure 1). C'est ce point que je me propose d'éclaircir.

Insuffisance de l'approximation circulaire

En raisonnant avec un mouvement circulaire uniforme, le phénomène ne peut bien sûr pas être détecté. La durée de révolution sidérale de Mercure est d'environ 88 j et sa durée de rotation sidérale d'environ 58,6 j. Avec les notations de la fig.2, les angles ϕ et α correspondant à une durée de 1 j valent environ : $\phi = 4^\circ$ et $\alpha = 6,1^\circ$.

Pour un observateur sur Mercure, le soleil se déplacerait alors de manière uniforme dans le ciel de la planète.

Utilisation des lois de Kepler.

D'après la loi des aires, pour une même durée (ici 1 jour, par exemple), l'angle $P_1 S Q_1$ est supérieur à l'angle $P_2 S Q_2$ et est maximal lorsque P_1 et Q_1 sont proches du

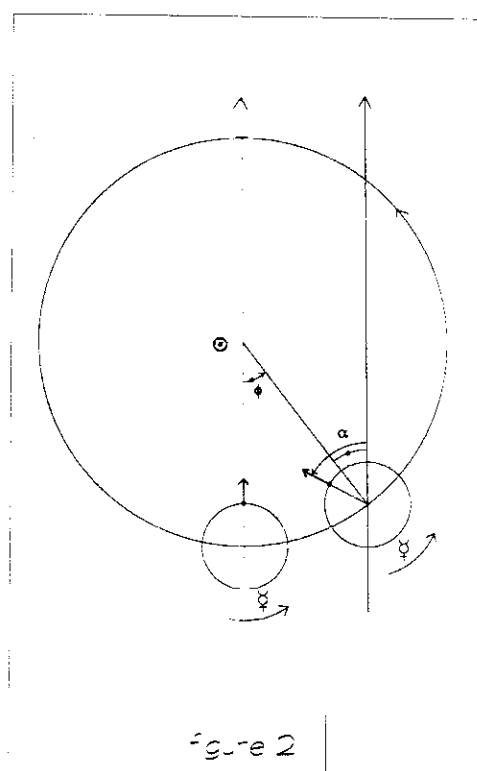


figure 2

périhélie (fig.3). Avec des notations similaires à celles de la fig.2, l'angle α reste inchangé mais l'angle ϕ varie avec la position de Mercure sur son orbite. On constatera une rétrogradation si ϕ devient supérieur à α .

On cherche alors à déterminer l'angle ϕ_1 correspondant à P_1 , P_1 périhélie de Mercure et Q_1 correspondant à la position de Mercure un jour après la position P_1

Rappelons l'équation polaire de l'ellipse (pôle au foyer) :

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

(périhélie pour $\theta = 0$)

avec $p = e \delta = e \left(\frac{a^2}{c} - c \right) = e \left(\frac{a^2}{ae} - ae \right) = a(1 - e^2)$ (fig.4).

L'aire balayée entre les positions M_0 et M_1 vaut donc :

$$A(M_0, M_1) = \frac{1}{2} \int_{\theta_0}^{\theta_1} \frac{p^2}{(1 + e \cos \theta)^2} d\theta$$

d'où, pour P_1 et Q_1 , en posant $q = 2 \operatorname{Arctan} u$

$$\begin{aligned} A(P_1, Q_1) &= p^2 \int_0^{\tan \frac{\phi_1}{2}} \frac{1 + u^2}{[1 + u^2 + e(1 - u^2)]^2} du \\ &= \frac{p^2}{1 - e^2} \int_0^{\tan \frac{\phi_1}{2}} \frac{1}{1 + \frac{1 - e}{1 + e} u^2} du - \frac{2ep^2}{(1 - e)(1 + e)^2} \int_0^{\tan \frac{\phi_1}{2}} \frac{1}{(1 + \frac{1 - e}{1 + e} u^2)^2} du \end{aligned}$$

La seconde intégrale se calcule par parties et on obtient, compte-tenu de la valeur de p :

$$A(P_1, Q_1) = a^2 \sqrt{1 - e^2} \left[\operatorname{Arctan} \left(\sqrt{\frac{1 - e}{1 + e}} \tan \frac{\phi_1}{2} \right) - \frac{e \sqrt{1 - e^2} \tan \frac{\phi_1}{2}}{1 + e + (1 - e) \tan^2 \frac{\phi_1}{2}} \right]$$

Par ailleurs, cette aire vaut : $\frac{\pi ab}{88} = \frac{\pi a^2 \sqrt{1 - e^2}}{88}$ (deuxième loi de Kepler).

L'angle ϕ_1 cherché est donc solution de l'équation :

$$\operatorname{Arctan} \left(\sqrt{\frac{1 - e}{1 + e}} \tan \frac{\phi_1}{2} \right) - \frac{e \sqrt{1 - e^2} \tan \frac{\phi_1}{2}}{1 + e + (1 - e) \tan^2 \frac{\phi_1}{2}} = \frac{\pi}{88}$$

Remarquons, ce qui était prévisible, que seul le paramètre e intervient dans cette équation. L'orbite de Mercure a pour excentricité $e = 0,206$.

La résolution numérique de cette équation (à l'aide d'une calculatrice, en l'occurrence une TI 92) fournit :

$\phi_1 = 6,35^\circ$, valeur effectivement supérieure à $\alpha = 6,1^\circ$.

Reste à aller constater sur place (chaudement) cette rétrogradation !!

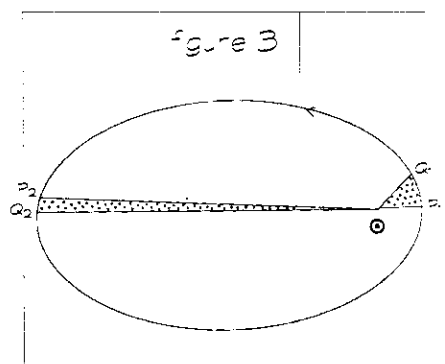


figure 4

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} \quad e = \frac{c}{a}$$

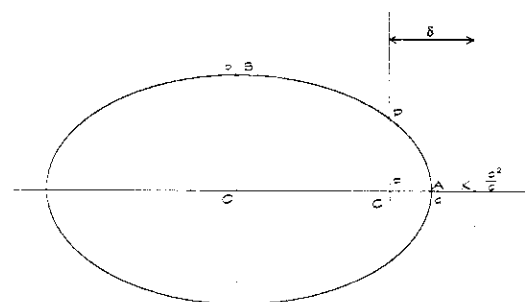
$OA = OB = a$ cet grand axe

$OB = b$ cet petit axe

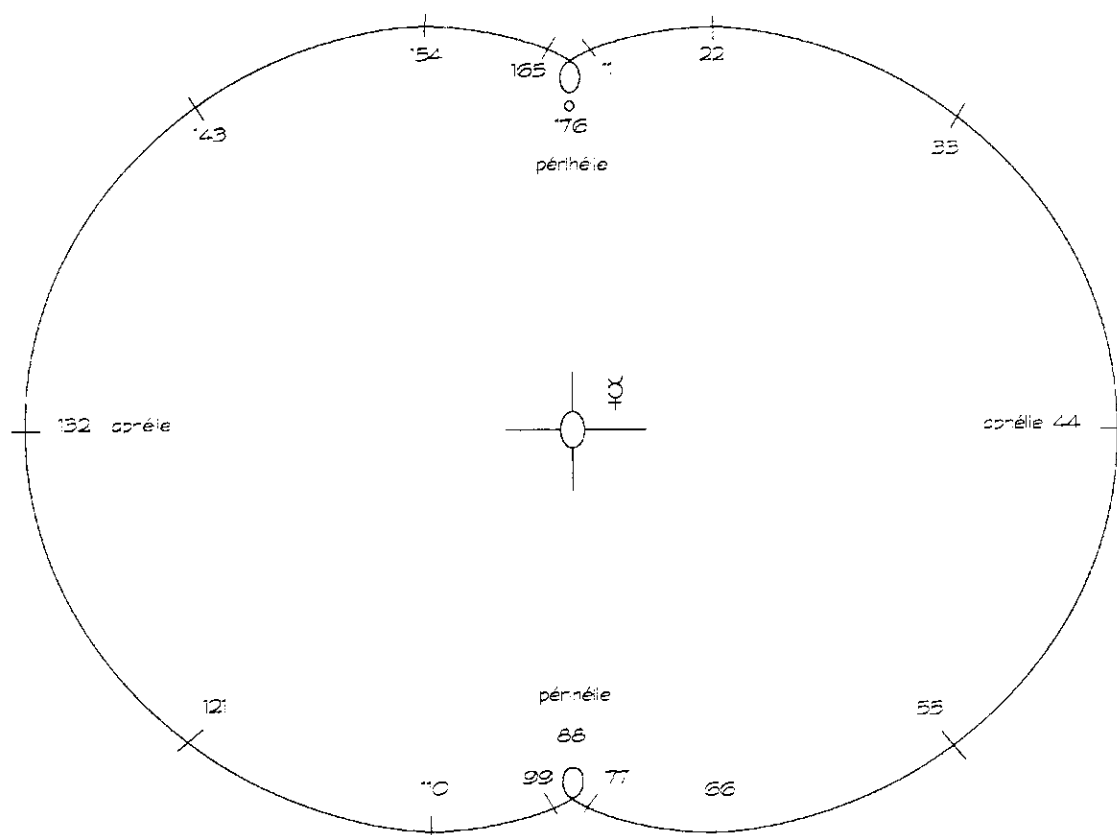
$OF = c$ cet distance focale

$OK = \frac{c^2}{a}$ cet distance des directrices

$FD = a$ cet corde focale ou paramètre



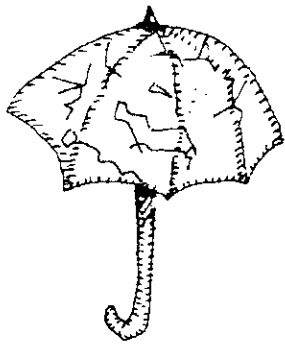
MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL



(cf Le grand atlas de l'astronomie Universalis p. 64)

figure 1





Un globe spécial Saisons

Pierre Causeret

Ce n'est jamais facile d'expliquer les saisons, surtout à des élèves jeunes. Il faut pour cela exposer les variations au cours de l'an-née de la hauteur du Soleil au dessus de l'horizon ainsi que de la longueur de la journée¹. Pour des lycéens ou des adultes, tout ceci peut se comprendre à partir de schémas. Mais pour des élèves de collège ou d'école primaire, il n'est pas toujours facile de voir dans l'espace à partir d'une image plane. Il est alors préférable d'utiliser un globe terrestre.

Le globe que je vous propose ici permet entre autres de visualiser les différences de puissance reçue au sol et de mesurer la longueur de la journée.

A vant d'aborder le problème des saisons avec des élèves, il est préférable de faire des observations, en particulier un relevé de l'ombre d'un gnomon au cours d'une journée. Cela permettra de mieux comprendre le mouvement apparent du Soleil ainsi que la relation entre hauteur du Soleil et longueur de l'ombre. Ce relevé peut être refait à d'autres époques de l'année. Différentes activités permettront aussi de bien comprendre la rotation de la Terre avant de s'attaquer aux saisons. On pourra par exemple observer le mouvement

apparent du ciel nocturne autour de la Polaire.

On recherchera aussi avec les élèves les différences entre l'hiver et l'été (température, hauteur du Soleil, longueur de la journée, directions des levers et couchers de Soleil...).

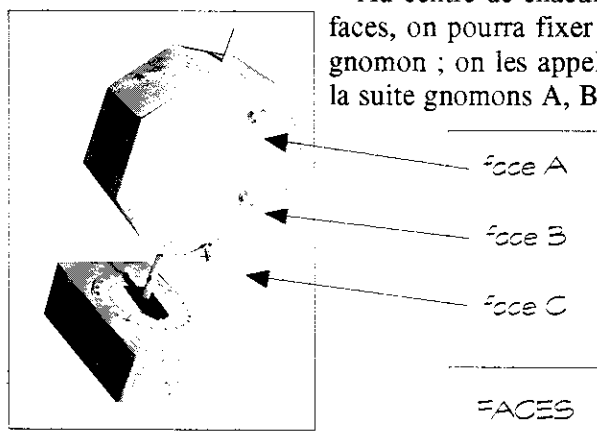
1 Description

1.1 Le globe

La Terre est représentée non plus par une sphère mais par un solide à 26 faces, 18 carrés et 8 triangles.

Le centre d'une face représente le lieu d'observation et la face elle-même simule le plan horizontal du lieu. On utilisera principalement 3 faces carrées de même longitude, la première à 45° de latitude Nord (face A), la deuxième à l'équateur (face B) et la troisième à 45° de latitude Sud (face C).

Au centre de chacune de ces faces, on pourra fixer un gnomon ; on les appellera par la suite gnomons A, B et C.



Une lampe d'une centaine de watts servira de Soleil. Elle sera placée à la même hauteur que le centre du globe (on peut la fixer sur un pied photo, facilement réglable en hauteur).

L'avantage d'un globe de cette forme sur la sphère est double : d'abord, on peut comparer visuellement l'éclairement à une même heure de deux faces adjacentes, correspondant à deux lieux de latitudes différentes : si une face est plus claire, elle reçoit davantage de lumière donc de chaleur et il doit y faire plus chaud. On voit ainsi directement les différences de puissance reçue pour 1 m² de sol horizontal. Deuxième avantage, on dispose de plans horizontaux pour mesurer la hauteur du Soleil ou pour faire des relevés d'ombres.

1.2 L'axe et son index

L'axe du globe est muni d'un index réglable pour donner l'heure solaire. Les 3 faces étant sur le même méridien, elles auront la même heure solaire, qu'on lit sur un cadran gradué de 0 à 24. On règle l'index à midi solaire ou 12h en tournant la Terre jusqu'à ce que la lampe-Soleil soit dans le plan du méridien de nos trois faces, l'ombre des gnomons suivant alors la direction Nord-Sud.

1.3 Le support

quand on le met à plat, l'axe de notre globe est vertical. Si on rajoute deux tourillons, il devient incliné de 23,5° par rapport à la verticale (voir plan).

2. Durée du jour, hauteur du Soleil à midi et puissance reçue au sol à différentes saisons

On admet que la Terre tourne autour du Soleil. Ce fait peut être justifié par l'observation des constellations qui ne sont pas les mêmes en été et en hiver.

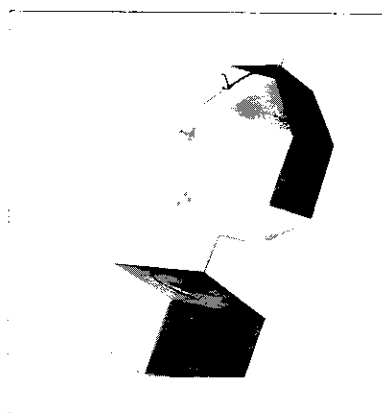
Le plan de l'orbite de la Terre, l'écliptique, sera représenté horizontal. On déplacera notre globe sur différentes tables situées autour de notre lampe-Soleil placée à la même hauteur que le centre du globe.

2.1 Avec un axe vertical

Il est intéressant de commencer par chercher ce qui se passerait si l'axe de la Terre était perpendiculaire au plan de son orbite. On ne fixe donc pas ici les deux tourillons sur le support.

On tourne la Terre sur elle-même jusqu'à ce que l'ombre du gnomon A soit au Nord. Le gnomon B n'a alors plus d'ombre - le Soleil est au zénith - et l'ombre du gnomon C est dirigé vers le Sud. Il est alors midi au Soleil. On en profite pour régler l'index. La face B est la plus claire alors que A et C sont de même luminosité. Il doit faire plus chaud à l'équateur.

On tourne ensuite la Terre sur elle-même dans le sens trigonométrique vu du Nord. On observe que les ombres des gnomons



s'allongent jusqu'à 18 h, heure où les trois faces passent simultanément dans la nuit. En continuant de tourner, on arrive au lever du Soleil à 6 h. Ces résultats sont inchangés si on place la Terre à un autre endroit de son orbite.

Cette première série de manipulations permet de conclure que, si l'axe de la Terre était perpendiculaire au plan de son orbite :

les journées dureraient toutes 12 heures

la région de l'équateur serait la plus chaude.

les latitudes 45° N et 45° S seraient également chauffées tout au long de l'année.

Bref, il n'y aurait plus de saisons.

2.2 Avec un axe incliné

Si on rajoute les deux tourillons du socle, l'axe du globe est alors incliné de 23,5° par rapport à la verticale (je parle ici de l'axe de la maquette ; dans la réalité, l'axe de notre Terre est toujours vertical puisque par définition, une verticale passe par le centre de la Terre, ce qui est bien le cas de son axe).

On refait les mêmes manipulations que précédemment.

Au solstice d'hiver (Pôle Nord dans l'ombre) :

- à midi solaire, l'ombre du gnomon A est beaucoup plus longue que l'ombre de B ou C ; le Soleil est plus bas. On voit aussi que la face A est plus sombre que les faces B et C. Elle reçoit donc moins de lumière et moins de chaleur, le Soleil éclairant en lumière rasante. Il fait plus froid.

- après avoir réglé l'index, on peut chercher l'heure du coucher de Soleil. On s'aperçoit que la face A est la première à passer dans l'ombre, aux alentours de 16 h. C'est ensuite le tour de B,

vers 18 h et de C, vers 20 h. Le matin, le Soleil se lève d'abord en C à 4 h, puis en B à 6 h et en A à 8 h. On en déduit la longueur de la journée :

8 h en A, 12 h en B, 16 h en C.

C'est l'hiver en A, il fait plus froid d'abord parce que le Soleil chauffe en lumière rasante mais aussi parce qu'il chauffe moins longtemps, la journée étant plus courte.

Pour le solstice d'été, 6 mois plus tard, on fait passer la Terre de l'autre côté du Soleil en gardant à son axe une direction fixe. La conservation de cette direction peut se justifier par l'observation à différentes époques de l'année de l'Étoile Polaire, au centre du mouvement apparent du ciel donc toujours dans le prolongement de l'axe de la Terre. Les distances des étoiles étant énormes, la direction de la Polaire en hiver ou en été peut être considérée comme fixe.

On recommence les mêmes manipulations en position solstice d'été, et on observe cette fois qu'à midi, la face A est la plus claire et que la journée en A dure 16 h contre 8 h en C. Il fait donc plus chaud dans l'hémisphère Nord.

Aux équinoxes, on s'aperçoit que la journée dure 12 heures aussi bien en A qu'en B ou en C. A midi, les faces A et C sont également éclairées, B étant plus lumineuse.

2.3 Compléments

- On peut aussi observer sur les faces A, B et C les directions de lever et de coucher du Soleil. On s'aperçoit ainsi qu'elles varient elles aussi au cours de l'année.

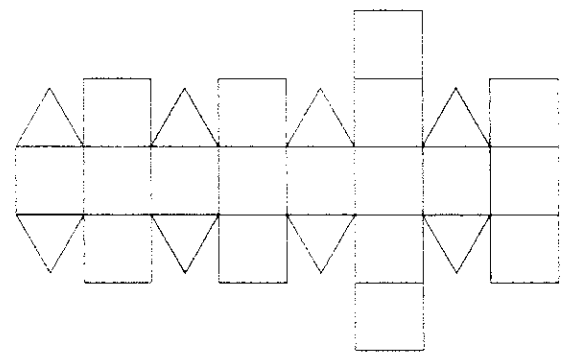
- On peut fixer sur la face A un bristol sur lequel on notera la position de l'extrémité de l'ombre du gnomon toutes les heures. On

retrouve les mêmes relevés que ceux que l'on aurait pu faire auparavant avec le vrai Soleil.

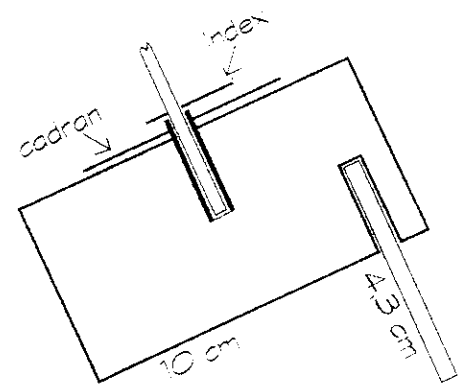
- Sur d'autres faces sans gnomon, on peut fixer un cadran solaire, le style faisant ombre étant parallèle à l'axe de la Terre. Cela permet de vérifier qu'il donne la bonne heure (solaire) en toute saison.

3. Conseils pour la réalisation pratique

- Le globe : il peut être réalisé en bristol comme celui des photos en utilisant le développement de la figure 5. On peut aussi le monter à partir d'éléments en plastique vendus pour fabriquer des solides (Clix géométrie noir et blanc. Ref 6125.8 chez Soral, 12 rue du Dr Crestin, 69362 Lyon)



- L'axe, l'index et le cadran : l'index doit être solidaire de l'axe mais réglable. Et quand celui-ci tourne, le cadran ne doit pas bouger. Pour cela, on l'isole de l'axe en utilisant un tube de crayon feutre.



- Le support : il a été fabriqué dans un tasseau de bois. La longueur des tourillons doit être calculée pour obtenir une inclinaison de $23,5^\circ$.

1 Le mot jour est ambigu dans le langage courant. Je l'utilise pour la durée de 24 heures et je préfère prendre le mot journée pour l'intervalle de temps entre le lever et le coucher du Soleil.



AVEC NOS ÉLÈVES

Eurosat : un logiciel de simulation du mouvement apparent des satellites artificiels

BAUD Laurent, DELCOURT Jean-Hugues,
MASCLEF Julien, RACINE Victor, LE FUR
Pierre

Etudiants et professeur à l'Institut Supérieur
d'Electronique de Méditerranée

A l'occasion des séances de Travaux d'Initiative Personnelle Encadrés, un groupe de 4 élèves de MPSI (1ère année) a pu concrétiser l'étude théorique du mouvement des satellites artificiels à l'aide d'un logiciel développé par Mr J.C. Marion, un passionné d'astronautique et d'informatique, avec lequel ils ont d'ailleurs eu la chance de travailler. Voici le résumé de leur rapport de TIPE, qui présente les principales caractéristiques de ce logiciel captivant et des applications possibles.

Ce logiciel est destiné à toute personne intéressée par l'étude théorique ou l'observation directe des satellites mais aussi aux amateurs d'astronomie. Son utilisation très conviviale ne nécessite pas de connaissances scientifiques poussées. Son intérêt principal est la visualisation de la trajectoire de satellites en projection sur le planisphère terrestre ou sur la sphère céleste correspondante, ceci en temps réel (application au guidage de monture MEADE SX200 de télescopes ou à l'observation directe) ou différé. Il permet d'introduire des notions astronomiques fondamentales telles que les mouvements apparents des planètes ou la prévision des éclipses. Notons que quelque 5000 satellites sont référencés dans la base de données

actualisable et qu'une aide très complète permet de guider l'utilisateur.

L'interface est basée sur celle de WINDOWS 95 (ou éventuellement de la version antérieure) pour la manipulation des fenêtres et des fichiers. Sur l'écran apparaît un planisphère terrestre sur laquelle se dessinent les trajectoires (Mercator), la portion de Terre visible depuis le satellite choisi et les zones de jour et de nuit, l'ensemble évoluant avec le paramètre temps. Simultanément, deux autres fenêtres (projection équatoriale ou polaire) permettent de visualiser le ciel visible depuis un point d'observation défini par l'utilisateur, on y observe donc le passage des satellites. On peut conserver ou imprimer ces vues ou fichiers.

Une base de données satellitaires très riche accompagne ces visualisations de trajectoires. A chaque satellite (ou pièce indépendante) correspond la date de lancement, le pays d'origine, le numéro de catalogue NASA, sa période, son inclinaison, son excentricité, sa dérive moyenne, l'apogée, le périégée, données radioamateur, etc... De plus, une réactualisation aisée peut être réalisée à l'aide du Minitel ou d'Internet (NASA, NORAD, ...). Celle-ci se révèle particulièrement nécessaire pour les satellites d'orbite basse comme la station orbitale Mir ou pour une poursuite de satellite en temps réel.

Une étude de l'influence de l'inclinaison (de polaire, type Spot, à équatoriale, type Météosat) sur les trajectoires de

satellites a été ainsi réalisée. La visualisation du mouvement réel dans le cas héliosynchrone (type Hélios) ou quasigéostationnaire (type Ekran) a permis de mieux comprendre les applications possibles de ces lunes artificielles. Les conditions de visibilité de la station Mir pour un site géographique donné ont été approfondies et les passages dans le cône d'ombre de la Terre parfaitement matérialisés.

Enfin, l'aspect planétarium astronomique constitue un point fort de ce logiciel : les étoiles apparaissent en projection équatoriale ou polaire et défilent avec la rotation de la Terre. Les planètes se superposent à cet ensemble, comme les satellites artificiels, si on le désire. Notons que les informations de site et d'azimut

locaux de n'importe quel astre sont disponibles ainsi qu'une étiquette de données (magnitude, nom ...) très complète. N'oublions pas la matérialisation du passage de la Lune dans le cône d'ombre de la Terre, c'est-à-dire la visualisation des éclipses de Lune.

Ce très riche logiciel présente donc un intérêt pédagogique fort et les élèves ont été passionnés par son exploitation. De plus, il est utilisable sur des ordinateurs tout à fait classiques : le logiciel fonctionne correctement avec un processeur 486 DX 50MHz équipé de 8 MO de mémoire vive. C'est, entre autre, un complément intéressant pour le cours sur les mouvements képlériens du programme de 1ère année de classe préparatoire.

Adresse du concepteur et fournisseur
Développement Informatique J.C. Marion
4 Impasse Thérèse Ventre 83210 LA FARLEDE

Adresses des auteurs
Institut Supérieur d'Electronique de Méditerranée
Place G. Pompidou 83000 TOULON.
e-mail : plefur@isem.tvt.fr

— — Mots fléchés sans flèches : réponses et explications de Maurice Carmagnole — —

1. La famille CASSINI est connue de tout le monde.
2. Roger COTES (1672-1716) qui fut professeur à Cambridge.
3. Pierre DIVE (1899-1960) qui s'inscrit dans un travail d'ensemble sur les masses fluides en rotation, dont les premières explorations remontent à Faye.
4. Pas de problème pour EULER.
5. Encore moins pour GALILEE.
6. Mais Louis GODIN (1704 - 1760), qui conduisit au Pérou la "Mission des Académiciens", est oublié du grand public (cf le récit de l'expédition par Florence Trystram, édition Seghers 1979)
7. Karl Ludwig HARDING, avec cette découverte de Junon, remportait le prix d'astronomie fondé par Lalande.

COTES	G	HERON	PRIAM
A	A	A	E
S	L	R	I
S	I	DIVE	R
I	L	I	A
N	E	N	I
I	E	G	S
CARE	EULER	GODIN	C
			R

8. HERON d'Alexandrie est-il suffisamment connu des jeunes ?
9. L'audacieux ICARE (astéroïde n° 1566), n'est pas bien gros (environ 1500m de diamètre), mais comme son nom l'indique, il s'approche très près du Soleil, une fois tous les 400 jours environ.
10. Charles MESSIER (1730-1817) accompagne toujours maintes photos d'amas ou de nébuleuses.

11. Pouvais-je oublier mon voisin Nicolas Claude Fabri de PEIRESC (1580-1637) ?
12. Achille, Patrocle, Hector, Nestor, PRIAM, Agamemnon, Ulysse, etc... l'embarras du choix ; mais je ne sais toujours pas pourquoi on a ainsi choisi de commémorer la guerre de Troie.
13. L'importance du spectre tient à l'existence des RAIES.



Retrogradation de Mars

Marie Agnès Lahellec

Je décris la façon dont je procède avec des élèves parisiens de première S, de bon niveau mais n'ayant pas ou très peu de connaissances en astronomie. Il n'est pas possible de faire d'observations du ciel.

Je fais une première séance de T.P. avec observations, commentaires des **photos de D. Toussaint**.

Exploitation, pour obtenir la boucle de rétrogradation de Mars sur fond du Taureau.(cf.fiche élève)

Mon objectif est de faire de l'astronomie et d'appliquer le plus rigoureusement possible le cours sur référentiels et repères pour qu'il prenne tout son sens.

Question motivation, il m'est (malheureusement) apparu nécessaire d'évaluer les élèves (en espérant toutefois les avoir intéressés) sur un compte rendu à faire à la maison. Mais les réponses aux questions posées sont données par les élèves, au fur et à mesure du déroulement de la séance.

Ils traitent la partie documentaire en s'appuyant sur les schémas du livre de physique.

La question sur le mouvement de la Lune est difficile. Elle permet un questionnement, il faut apporter de sérieux arguments au cours de la deuxième séance.

Au cours de la deuxième séance de T.P. les élèves exploitent le **logiciel de J.P. Rosenstiehl** (CC n°74) TERMARS et on corrige la partie documentaire.

Première séance de T.P

Matériel : **photos de D. Toussaint (D5)**, un projecteur de diapos, un grand carton blanc sur lequel les élèves travaillent, crayon noir, papier calque.

Positionnement des photos dans le projecteur de diapos : photos face à soi numéro en haut à droite.

Toutes les photos sont prises avec le même objectif, un 50 mm, sauf la photo n° 18.

Attention, la photo n° n correspond à la position n-1 des documents 1 et 3 bis.

La photo n° 18, position 17 du document, appartient à la boucle précédente.

progression adoptée

1- Photo n° 1 pose 10 s : la constellation du Taureau. La planète Mars n'est pas visible.

n° 20 pose 11 mn interruption de 1 mn puis nouvelle pose :

- La constellation du Taureau apparaît " en filé " : les élèves identifient bien la constellation.

- Cette photo met en évidence le mouvement diurne de la voûte céleste: placer l'Est et l'Ouest.

* Le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même donne un mouvement apparent aux étoiles, pour l'observateur terrestre. Sur l'écran, l'Est est à gauche, l'Ouest est à droite.

2 - Passer rapidement les photos n° 2 à n° 16 pour observer l'astre " errant "(étymologie) : la planète Mars.

3 - Passer la photo n° 18 (13. 01. 89) Jupiter dans le Taureau . Mars dans le Poisson .
Passer la photo n° 17 Conjonction Vénus Mars.

4 - Revenir à la photo n°1, placer un écran en carton blanc en prévoyant de pouvoir le faire tourner, reporter Aldébaran - M 45 (les Pléiades) les étoiles b et x. C'est le référentiel des étoiles fixes, **référentiel géocentrique**.

5 - Projeter les photos n° 2 à 10 : les groupes de 2 élèves différents se succèdent et reportent dans le repère, pour chaque photo, la position de Mars.

6 - Distribuer la feuille résultat n° 1

7 - Passer les photos n° 10 à 16 : les élèves repèrent Mars par rapport au document.

Commentaire : de 1 à 4 puis de 8 à 15 Mars " se déplace " d'Ouest en Est, dans le sens **direct**,
de 4 à 8 Mars " se déplace " d'Est en Ouest dans le sens **rétrograde**

Conclusion de la première partie. Document: mouvement de Mars dans un repère géocentrique.

Deuxième partie : changement de référentiel.

Distribuer aux élèves le document 3 bis : trajectoires de la Terre et de Mars dans un **référentiel héliocentrique**, dans le plan de l'écliptique, vu du pôle nord solaire.

- Les élèves remarqueront que la trajectoire de Mars est elliptique, le soleil est un foyer.

- Les élèves disposent d'un papier calque, figurant le **référentiel géocentrique** : au milieu, tracer un système d'axes perpendiculaires figurant le repère, de centre T (la Terre).

- Les élèves déplacent le papier calque, en gardant les axes des deux repères parallèles, en plaçant T sur les positions numérotées de la Terre autour du Soleil. Ils relèvent les positions de Mars et du Soleil à la même date.

On voit se former la boucle de rétrogradation de Mars dans le référentiel géocentrique.

La différence avec le document n°1 est un effet de perspective **qu'il faut commenter**.

Remarque : les Pléiades sont un amas d'étoiles. Avec une bonne vue, on doit pouvoir en distinguer 7 ; dans la mythologie grecque ce sont les 7 filles d'Atlas, divinisées.

Corrigé des questions du compte rendu

PREMIERE PARTIE

La planète Mars est une source optique secondaire, elle diffuse la lumière reçue du Soleil, source primaire.

Pour se ramener à un observateur géocentrique, le photographe a utilisé un temps de pose assez court pour pouvoir s'abstraire du mouvement de rotation de la terre sur elle-même.

RÉSULTATS

Le référentiel **géocentrique** a un mouvement de **translation circulaire** par rapport au référentiel **héliocentrique**.

C'est dans la position 6 que Mars est plus proche de la Terre. On pourrait s'en rendre compte théoriquement par une différence d'éclat.

Lorsque la Terre est en position 13 l'observateur terrestre "voit" le Soleil, approximativement, sur fond du point γ la date est proche du 21 mars (équinoxe de printemps). La position 2 correspond à l'équinoxe d'automne vers le 23 septembre, six mois plus tôt.

La boucle du document obtenu sur papier calque appartient au plan de l'écliptique.

L'observateur terrestre n'appartient pas au plan de l'écliptique, la trajectoire lui apparaît en perspective.

Et la trajectoire de Mars n'est pas toute entière contenue dans ce plan.

A l'aide du logiciel de **J.P. Rosenstiehl** on s'aperçoit que toutes les boucles de rétrogradation n'ont pas le même aspect, elle peut apparaître plus ou moins ouverte.

Question aux collègues : est-ce que l'aspect de la courbe varie beaucoup avec la latitude de l'observateur terrestre ?

PREMIERE PARTIE

Observation d'une série de diapositives.
Commentaire collectif. Tracé de la trajectoire dans un **référentiel géocentrique**.

Le document 1 reproduit, à l'échelle, dans un référentiel géocentrique, la trajectoire de la planète MARS telle qu'elle vient d'être relevée, sur le fond de la constellation du Taureau.

Questions

- Quel type de source optique est la planète Mars ?
- Placer les points cardinaux Est Ouest sur le document 1, en justifiant.
- En observant le sens de déplacement de MARS, on décompose la trajectoire en trois parties, numérotées dans l'ordre chronologique. Montrer qu'une partie est parcourue dans le sens rétrograde.
- En pratique l'observateur n'est pas au centre de la Terre. Quel procédé a été employé pour se ramener à un observateur géocentrique ?

DEUXIEME PARTIE

Objectif : reconstituer la trajectoire de Mars et du Soleil dans un référentiel **géocentrique**, connaissant les trajectoires de Mars et de la Terre dans un référentiel **héliocentrique**.

Le document 3 figure ces trajectoires de la Terre et de Mars autour du Soleil, sur le plan de l'écliptique.

Changement de référentiel:

- Tracer dans le référentiel **héliocentrique**, le repère d'axes S_x, S_y . L'axe S_x pointant dans la direction du point γ est déjà tracé, S_y normal à S_x .
- Au milieu d'une feuille de papier calque tracer le repère **géocentrique** correspondant, d'origine T. L'axe T_x pointe vers le point γ , T_y normal à T_x , et tracer le cercle des constellations zodiacales.
- Déplacer la feuille de papier calque en positionnant T sur les différentes positions 1 à 16 du repère géocentrique et en maintenant

les axes T_x, T_y parallèles aux axes S_x, S_y .

Reporter sur le papier calque les positions successives de Mars et du Soleil (2 couleurs).

RÉSULTATS

Questions:

- Quel est le type de mouvement du référentiel **géocentrique** par rapport au référentiel **héliocentrique** ?
- En quelle position Mars est elle plus proche de la Terre ? Comment pourrait-on s'en apercevoir à l'observation ?
- Quelle est la date approximative lorsque la Terre est en position 13. Justifier. En déduire la date en position 2.
- Interpréter la différence d'aspect du document obtenu avec celui du document 1, en réfléchissant au point de vue

TRAVAIL DOCUMENTAIRE

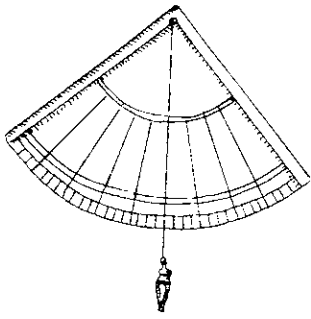
- Quel est le mouvement apparent des astres, sur une journée, pour un observateur terrestre local ?
- Faire un schéma du mouvement apparent du Soleil, sous nos latitudes, au moment de l'équinoxe. Comment explique-t-on ce mouvement apparent ?
- Chercher les définitions du plan de l'écliptique, du Zodiaque, du point γ .
- Un observateur terrestre local observe que, d'un jour à l'autre, la lune se lève une heure plus tard (en première approximation). Montrer que cette observation est expliquée par le mouvement de la Lune d'Ouest en Est autour de la Terre dans le référentiel géocentrique. **C'est le sens direct en astronomie.**

TROISIÈME PARTIE

Utilisation du logiciel TERMARS .
Trouver la trajectoire de MARS par rapport à la terre en 1997.

Sur le fond de quelle constellation observe-t-on la rétrogradation ?





Le grand télescope de Lord Rosse

Centre Scientifique Historique d'Irlande

Ce texte est la traduction, par M. Bobin et L. Bottinelli, d'un article paru en 1997 dans le numéro 28 de la revue "Europhysics News", grâce à l'obligeance de la Fondation Scientifique de Birr (Irlande). Il décrit la construction puis l'histoire du fameux télescope grâce auquel Lord Rosse (alias William Parsons) a découvert, vers 1850, la structure spiralee de M51, la grande nébuleuse des Chiens de Chasse.

1840 - 1900 : Astronomie et Technique

Au milieu du XIX^{ème} siècle, la famille Parsons a réalisé quelques prouesses extraordinaires en science et en technique, dans sa résidence de Birr Castle, à Birr, comté d'Offaly, (alors comté du Roi). William Parsons, Troisième Comte de Rosse, commença à construire des télescopes et un observatoire alors qu'il n'était âgé que d'une vingtaine d'années.

En 1840, non satisfait de la quantité de lumière qu'il pouvait recueillir dans son télescope de trois pieds, il décida d'en construire un énorme de six pieds¹ de diamètre. Installé au milieu du parc du château, il le conçut et le construisit lui-même utilisant la main d'oeuvre artisanale locale : les travailleurs du domaine, tels que tonneliers, charpentiers, forgerons et ferronniers, que le Comte forma lui-même et uniquement avec les ressources alors disponibles en Irlande du centre. Le miroir du télescope était un exploit technique en lui-même. L'énorme miroir de six pieds (en bronze², alliage de cuivre et d'étain)

avait la forme d'un parabolôide et pesait quelque trois tonnes. Il fut coulé dans un four construit au fond des douves et alimenté par la tourbe des tourbières locales. L'alliage fut refroidi à la température ambiante dans un four à recuire. Il avait fallu faire très attention aux proportions de cuivre et d'étain utilisées et au processus de recuisson, pour empêcher le miroir de se fendre pendant le refroidissement. Le refroidissement d'une durée de trois mois, puis le polissage pour obtenir la norme requise, sans défaut, fut un art, véritablement une oeuvre de génie.

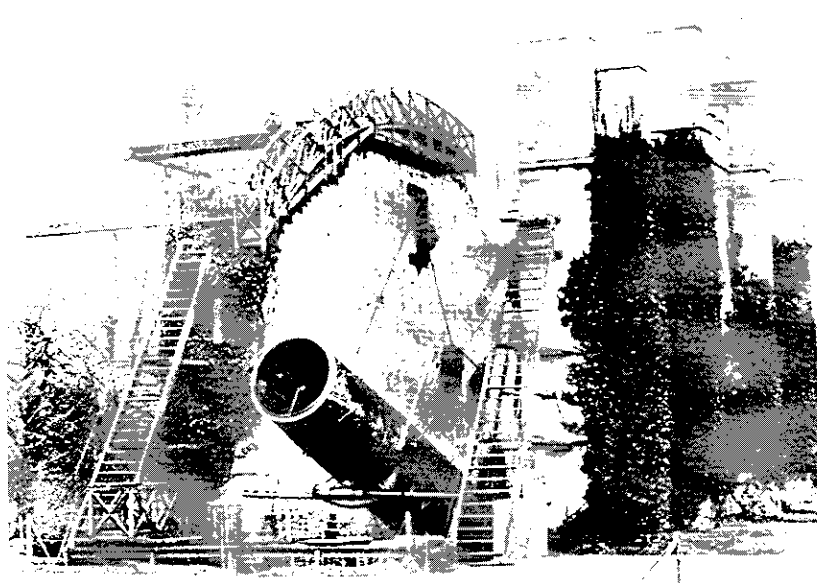
Le tube du télescope mesurait six pieds de long et était suspendu entre deux murs de calcaire de 60 pieds de haut. C'était un télescope où le miroir principal est situé à la base du tube et où l'observateur regarde à travers un oculaire placé près de l'ouverture. La lumière de l'astre est réfléchié à partir du miroir principal sur un miroir secondaire placé au centre du tube, incliné à 45°, en face de l'oculaire³. Lorsque le tube était dirigé vers le ciel, l'observateur devait maintenir sa position au sommet du tube.

Des échelles lui permettaient d'atteindre les plates-formes d'observation et de se tenir debout sur une série de galeries qui pouvaient être élevées et baissées selon les besoins, suspendues aux murs porteurs au moyen d'un assemblage de poulies, de chaînes, de poids et de treuils.

Après son achèvement, l'instrument fut testé par le Comte et par plusieurs astronomes qui vinrent à Birr pour travailler avec lui. L'immense pouvoir du télescope (il demeura le plus grand au monde jusqu'en 1917⁴) permit au Comte de voir plus profondément dans l'espace que quiconque avant lui et attira des astronomes d'aussi loin que les Etats-Unis, l'Australie et la Russie Impériale, d'où ils firent le pèlerinage jusqu'à Birr, le seul observatoire au monde qui permettait de voir aussi loin dans l'espace.

Le troisième Comte devint surtout intéressé par les nébuleuses et en particulier, par celles de nature spirale. Ce fut au printemps 1845 qu'il fit sa première découverte majeure : à savoir que certaines galaxies ont une forme spirale, et ne sont pas simplement une "tête d'épingle" lumineuse. Il les décrivit dans des dessins dont la clarté ne fut pas égalée jusqu'à l'avènement de la puissante photographie, au siècle suivant. Et en cette même année

1845 le Comte identifia et dénomma Messier 51 comme la nébuleuse "Tourbillon". Depuis lors, la belle structure de ces objets a fasciné les astronomes. L'observation des nébuleuses spirales fut le point culminant des débuts de l'utilisation du Grand Télescope. Pour cette réussite, et pour d'autres



Le télescope de six pieds de Lord Rosse

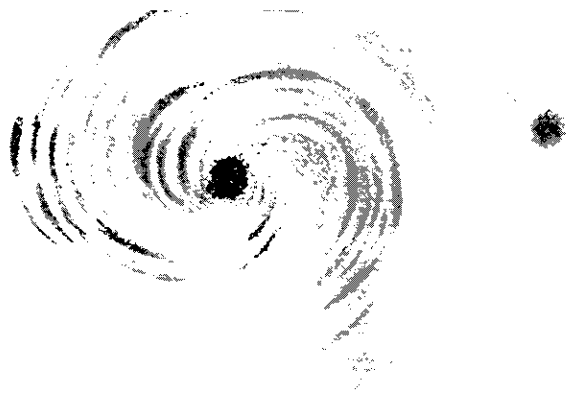
découvertes, le troisième Comte de Rosse fut nommé Président de la Société Royale, et en cette qualité il supervisa la Grande Exposition de Londres en 1851 et celle de Dublin en 1853.

Pendant les 50 années suivantes des astronomes continuèrent à travailler à Birr. Le quatrième Comte était également intéressé par l'astronomie et construisit un autre télescope, encore que miniature en comparaison, pour mesurer la température de la Lune. Les dernières observations au Grand Télescope eurent lieu au début des années 1900 et finalement, après la mort du quatrième Comte en

1908, les télescopes furent abandonnés et démantelés en 1914. A part l'un d'eux : le Grand Télescope échappa au démantèlement; il resta devant la pelouse, comme une "folie" gothique, couverte d'arbres, d'arbustes et de buissons, attendant sa résurrection.

1993 - 1998 : Restauration

En 1993, l'actuel Comte de Rosse mis en route un projet de restauration du télescope, et en 1995 le financement fut assuré par le gouvernement et le Fond de Développement Régional Européen pour démarrer la restauration. Des dons privés furent sollicités auprès des particuliers et des sociétés pour compléter le financement. Des sous-traitants furent recherchés : des tailleurs de pierre pour travailler aux murs de soutien, des ferronniers spécialistes pour refaire les plates-formes d'observation et les galeries, des menuisiers spécialistes pour construire un nouveau tube en bois (la plus grande partie de l'original étant pourrie) et des électriciens pour réaliser la commande électronique des mécanismes.



Dessin de la nébuleuse M51
réalisé en 1850

Ainsi, tout en continuant à pouvoir être orienté manuellement, le télescope informatisé fonctionnera maintenant, en appuyant sur un bouton.

Au printemps 1994 des ingénieur-conseil furent nommés et commencèrent à évaluer la faisabilité de la restauration du télescope. Il n'y avait pas de dessins originaux. Pour estimer le poids, retrouver les mécanismes de fonctionnement, redessiner les plates-formes d'observation, et finalement faire de nouveaux dessins, il était nécessaire d'explorer les fondations, d'étudier de vieilles photographies, de scruter les archives et de faire des fouilles pour voir ce qui avait pu rester de la structure d'origine.

Une très grande découverte d'archives fut l'agenda d'un astronome qui avait passé six mois à Birr en 1848. Dans celui-ci, on trouve une description détaillée de la façon dont le miroir fut conçu, poli et testé pendant une période de trois mois. Une trouvaille supplémentaire fut un dessin du télescope par la naturaliste Mary Ward, une cousine du troisième Comte. Elle l'avait réalisé avec un soin méticuleux et en décrivant très précisément le fonctionnement du télescope.

Les offres furent reçues et les contrats définitifs accordés à la fin de l'année 1995, et le principal entrepreneur arriva sur le site en février 1996. En mars le tube fut séparé du boîtier du miroir et enlevé avec une très grande appréhension. Il était resté sur le sol depuis presque cent ans : en dépit des précautions et du travail préparatoire, pouvait-il s'effondrer quand il serait retiré de ses montants ?

Doucement, lentement, le grand tube fut soulevé et déplacé sans encombre sur un camion à plateforme surbaissée et tiré jusqu'à l'atelier pour être reconstruit. C'était un travail gigantes-

que : le tube en bois fut démonté, une structure légère en acier fut construite et les planches pourries remplacées. Les bagues en fer furent nettoyées et peintes, les fixations et les boulons furent remplacés.

Pendant ce temps les tailleurs de pierre avaient commencé à travailler : les murs ouest et est furent complètement restaurés. En mai 1996, les lourdes plaques de métal utilisées pour attacher les galeries furent positionnées sur le mur ouest. Les galeries furent reconstruites, un treuil d'époque fut loué (aux docks de Dublin !) et toutes les autres parties mécaniques fabriquées.

Une des tâches les plus importantes fut de tester le cardan, l'articulation massive en fonte, autour de laquelle le télescope tournait. Il avait été coulé par le troisième Comte en 1844 et avait survécu au démantèlement du télescope au début du siècle. Serait-il encore suffisamment en bon état pour soutenir quelque 150 ans plus tard, le poids d'ensemble de 12 tonnes, du tube nouvellement construit avec son miroir et de tous les poids et chaînes ? Une grue et 15 tonnes de poids en béton furent apportés sur le site, par un premier mai froid et humide. Simultanément des charges horizontales calculées avec soin furent appliquées par des crics tendus à partir des murs contigus, pour simuler les charges réelles qui seraient appliquées par le télescope en action ; en tout six tests furent effectués. La vieille articulation en fonte tiendrait-elle bon ? A mesure que l'on ajoutait chaque combinaison de poids, des tests étaient menés pour constater s'il y avait quelque signal de mouvement ou de détresse dans l'articulation ou dans la fondation en maçonnerie située en dessous. Huit heures plus tard, le test final, le plus critique, fut appliqué, un moment atroce pour les nerfs !

Mais cela marcha ; la vieille articulation pouvait être remise en action. Début septembre, le tube restauré fut conduit lentement de l'atelier à Birr. Il rôdait comme une énorme bête le long de sa route à travers les villages. De retour au site, les mécanismes étaient mis en place, prêts pour le réassemblage : roues de grues, chaînes, tables tournantes, et échelles d'accès furent installées et testées du point de vue sécurité. La tanière était prête !

Mise en place du méridien

Le 16 juillet 1996 une équipe de l'Association astronomique d'Irlande arriva à Birr pour établir un véritable alignement Nord-Sud - le "Méridien" - pour placer l'Arc de Méridien afin qu'il soit reconstitué sur la face interne du mur est. L'équipe utilisa la méthode du passage du Soleil pour obtenir le méridien exact. Au cours d'une cérémonie, le 18 juin, Sir Bernard Lovell (Fondateur et Directeur des Laboratoires de Radioastronomie de Jodrell Bank) et le Docteur A.J.F. O'Reilly (Président du Conseil du Centre Scientifique Historique d'Irlande) rétablirent les bornes du méridien à Birr. Trois pierres alignées avaient été installées par le troisième Comte de Rosse au début des années 1840 pour s'assurer que le télescope était directement sur la ligne du méridien. Une des pierres, droit vers le sud, était encore en place, mais les deux autres avaient disparu au cours des ans.

Le nouveau miroir

Où trouver un nouveau miroir adapté à un télescope du XIX^{ème} siècle ? La fabrication couronnée de succès du miroir de 6 pieds de diamètre était sans aucun doute la réussite la plus importante du Troisième Comte.

Le miroir original avait été donné au Musée des Sciences de Londres quand le télescope avait été démantelé en 1914. On espère qu'un jour ce miroir sera restitué en prêt à Birr, comme objet central d'exposition dans les nouvelles Galeries des Sciences qui doivent également être construites ici.

En attendant le Grand Télescope doit fonctionner, et les nombreux amis du projet ont cherché une société qui pourrait fabriquer un miroir de remplacement convenable. Parmi eux, Sir Bernard Lovell qui fit des recherches à travers le monde, d'Amérique jusqu'en Russie. Il a été décidé de faire un miroir en métal comme auparavant mais en aluminium. Les négociations avec les physi-

ciens de University College de Londres pour la fabrication du nouveau miroir et de toutes les autres parties optiques et mécaniques ont été un succès. La réalisation prendra 18 mois. La commande de cet élément dépasse le budget actuel et nécessitera le lancement d'une collecte de fonds séparée. Cependant on espère installer le nouveau miroir d'ici le printemps 1999, lorsque le Grand Télescope de Birr deviendra, une nouvelle fois, complètement opérationnel.

NDLR

- 1 - six pieds correspondant à 1,83 m.
- 2 - les premiers constructeurs (Newton (1672), Herschel (1774), Lord Rosse

(1840), Lassell (1860), réalisaient des miroirs en bronze spécial à haute teneur en étain, dont la croûte de fonderie très dure pouvait seule recevoir un poli ayant quelque qualité optique. Le pouvoir réflecteur dans le jaune ne dépassait pas 64%.

3 - configuration dite en "foyer Newton".

4 - date de la mise en service du télescope de 2,54 m du Mont Wilson aux Etats-Unis, avec lequel Hubble mit en évidence l'existence de galaxies extérieures à la nôtre.

On peut visiter le Grand Télescope de Birr depuis février 1997, tous les jours, de 9h à 18h. Pour plus d'informations contacter : Brigid Roden, Birr Castle Demesne, Co Offaly. Tel: (0509) 20336. ■

Constitution d'une Association pour la promotion et le développement de l'histoire des sciences dans le système éducatif.

Plusieurs grands savants français (Langevin, de Broglie, Monod, Jacob, Kastler...), des historiens célèbres (Lucien Febvre, Marc Bloch...) des philosophes connus (Bachelard, Canguilhem...), de nombreux enseignants..., ont demandé que l'histoire des sciences soit enseignée à différents niveaux du système éducatif français. Cette revendication figure aussi dans le rapport au Président de la République, rédigé en 1985 au nom du collège de France par le sociologue Pierre Bourdieu. Malgré quelques progrès réalisés depuis vingt ans, les résultats de cette campagne sont restés modestes et fragiles.

Pour aller plus loin à cet égard, et à la suite d'un stage national qui s'est tenu à Morgat en mai 96, un groupe d'historiens des sciences vient de déposer les statuts de l'**Association Kastler-Arago-Langevin (AKAL)** dont la vocation est de promouvoir cet enseignement. Le bureau provisoire de l'association comprend MM. Rosmorduc, et Coutelle, professeurs à l'Université de Brest, M. Ramunni, professeur à l'Université de Lyon et M. Brouzeng, professeur à l'Université d'Orsay. Le montant de la cotisation est de 100F.

Courrier à adresser à :

J. Rosmorduc, Faculté des Sciences et des Techniques, BP 809, Avenue Le Gorgeu, 29285 Brest Cedex.

Errata : quelques coquilles, dues à la rédaction, se sont glissées dans le n° 80 :

- Vous avez peut-être remarqué que le Soleil s'est beaucoup rapproché de nous : sa distance est de 150 000 000 km et non de 1 500 000 km bien sûr ! (p16)
 - Vous avez sans doute été surpris quand vous avez lu p22 que l'équation diophantienne : $(1000n + 1)^2 - 1000n^2 = (n + 1)^2$ n'a que la solution $n = 1998$ (hormis la solution triviale $n = 0$) l'équation correcte est : $(1000n + 1)^2 - (1000n)^2 = (n + 1)^2$
-



LECTURES POUR LA MARQUISE

"DES RYTHMES AU CHAOS"

Pierre Bergé, Yves Pomeau,
Monique Dubois Gance,
opportune réédition en 1997 par
Odile Jacob dans la collection Opus.

Théoriciens ou expérimentateurs, ces trois auteurs se complètent pour nous offrir une étude claire et rigoureuse des comportements erratiques qui relèvent du chaos. S'appuyant sur des exemples simples de relations mathématiques ou de systèmes concrets, ils nous montrent que ces phénomènes strictement déterministes sont caractérisés par des fonctions non linéaires d'un petit nombre de variables et très sensibles aux conditions initiales. Les systèmes périodiques sont tout spécialement étudiés : du pendule idéal dont la dynamique ne donne lieu à aucune fantaisie, aux oscillateurs couplés qui par simple modification d'un paramètre peuvent passer "des rythmes au chaos". La non linéarité apporte à ces systèmes une grande complexité et corrélativement une variété infinie de comportements possibles. C'est ainsi que nous apprenons - avec quelque appréhension - que notre cœur loin d'être un oscillateur idéal a une nature chaotique sous-jacente, mais qu'en contrepartie "sa complexité lui permet de s'adapter, par une variation de son rythme, à des conditions d'activité très variées, tout en maintenant son équilibre".

Le déterminisme cesse donc d'être un carcan rigide et peut régir des systèmes où l'ordre et le désordre se côtoient, ce qui leur donne une grande souplesse d'adaptation et peut-être laisse une place à notre libre arbitre....

Ce livre nous ouvre des horizons nouveaux à la fois excitants et

raisonnables. Les auteurs ont su simplifier sans les dénaturer ces phénomènes très complexes et nous donnent ainsi le plaisir de les comprendre.

Annie Lava

DIEU FACE A LA SCIENCE

Claude Allègre

Ed. Fayard (303 p.) 120 f

Ce livre apporte une réflexion profonde et originale sur la nature et le cheminement de la science. Claude Allègre se pose la question : "*pourquoi la science s'est-elle développée en Occident ?*". Einstein y avait vu les simples lois du hasard. La thèse de l'auteur est que ce développement est dû aux relations et aux conflits avec les religions issues de la Bible, et plus particulièrement avec le christianisme.

Pourquoi donc, face aux manifestations d'hostilité - dont les cinq premiers chapitres du livre donnent une succession impressionnante d'exemples détaillés - est-ce en Occident, dans le champ de la chrétienté, que la science moderne s'est développée ? Par leur démarche théologique, qui repose sur une vision globale du monde, les religions monothéistes issues de la Bible donnent une excellente base à l'essor de la réflexion scientifique :

Dieu et l'Homme, le premier tout-puissant et le second responsable et maître de son destin. Le questionnement issu du texte sacré aurait certes pu être étouffé par l'absolutisme religieux ; s'il ne l'a pas été, argumente l'auteur, c'est pour deux raisons.

D'abord, la naissance de l'université, fondée pour étudier et approfondir les Ecritures ; avec elle, le monde occidental se dote d'un outil et d'un programme scientifique : comprendre la nature pour se rapprocher de Dieu. Une fois forgé, l'outil jouera son rôle.

Ensuite, par ce qui est le moteur le plus puissant de l'activité humaine, la compétition ; elle fit rage entre les religions monothéistes, qui cherchèrent alternativement à s'approprier la science ou à l'étouffer. L'épisode du débat sur le géocentrisme fournit une illustration de cette thèse, par le conflit de l'Eglise catholique avec la Réforme : dans un premier temps, Kepler, protestant, adepte de la théorie de l'héliocentrisme condamnée par Luther, n'est pas apprécié des siens ; au contraire Galilée jouit des encouragements romains. La situation s'inverse après la condamnation de Galilée : Kepler est reconnu et enseigné. Lorsque Newton fait de la gravitation une force universelle, Rome condamne cette invention protestante ... que l'Eglise d'Angleterre adopte. La nature du conflit a donc reposé davantage sur une opposition de pouvoirs que de savoirs ; l'auteur en fournit un autre exemple avec le conflit géologique sur l'âge de la Terre au 19^{ème} siècle : l'Eglise anglicane s'opposant d'abord à la propagation des idées de libre pensée nées de la Révolution française et propagées par les troupes napoléoniennes.

Question corollaire de la précédente : cette science, qui s'est développée en Occident, pourquoi a-t-elle été stoppée en Chine ? Vers le XII^{ème} siècle, alors que Saint Bernard faisait triompher l'idée de l'ignorance pieuse face à Abélard, les chinois connaissaient l'imprimerie, le sismographe, la fusée. D'où vient le déclin de la science chinoise ?

De la technocratie d'abord : *"La Chine a fait prospérer les ENA avant la lettre, studieuses et disciplinées"* ; du trop grand centrage sur la technologie ensuite ; et Claude Allègre cite cette réflexion du physicien Edouard Brézin : *"On ne découvre pas l'électricité en cherchant à améliorer la bougie"*. Ne pas oublier non plus que le transfert de la prééminence scientifique de la Chine à l'occident, au XIII^{ème} siècle, s'est fait par le monde Arabe. La cause majeure de l'arrêt de la pensée scientifique arabe : l'invasion par les Turcs, dont Allègre dit qu'ils *"furent les romains du Moyen-Orient"*.

Autre axe de réflexion de l'auteur : l'attitude négative des religions face à la science est loin d'être une exclusivité catholique. Si les conflits y sont plus fréquents et mieux connus, affirme Allègre, c'est parce que la science s'y et développée mieux qu'ailleurs. Le conflit ne saurait apparaître dans le bouddhisme tibétain - et pour cause - : cette religion à la mode, dont on vante la sagesse par rapport à la perte de sens de l'Occident, l'auteur demande qu'on veuille bien étudier sa situation sur place, là où le clergé exerce une dictature morale qui maintient les gens dans l'ignorance : *"Au prétexte que le tantrisme enseigne que le monde n'est qu'illusion, on ne développe ni école, ni éducation"*. D'où cette constatation : *"Dès qu'il y a clergé, quel que soit le fond religieux, il y a relation de pouvoir, et donc déviance"*.

Les "religions" issues du matérialisme ne sont pas exemptes de critiques : si la théorie atomique a été rejetée par l'Eglise catholique parce qu'elle s'oppose à la conception de la présence réelle dans l'Eucharistie, on doit rappeler qu'Auguste Comte la rejeta aussi, sous prétexte qu'on ne voit pas les atomes...

Les positivistes s'opposèrent aussi à l'utilisation du microscope, susceptible de fausser l'observation ou encore au calcul des probabilités, au nom du déterminisme, synonyme pour eux de rationalisme. Etonnant de constater que les sciences ont été classées de façon similaire par le monde catholique et par Auguste Comte, en fonction des conflits qu'elles peuvent ouvrir. Les plus nobles sont les sciences abstraites, à commencer par les mathématiques ; moins elles ont de rapport avec le réel, moins elles sont susceptibles de contredire le dogme.

En conclusion : toute la science est fondée sur l'idée que la nature obéit à des lois. Sont-elles là par hasard ? Sont-elles pure élucubration de l'esprit humain ? Proviennent-elles d'une puissance divine ? A ceux qui pensent que Dieu n'est pas nécessaire pour organiser une nature qui obéit à des lois, répondent les partisans d'une logique suprême qui régent l'Univers : *dilemme que la science ne peut résoudre* conclut Claude Allègre, qui se refuse à préciser son camp.

Lucienne Gouguenheim

HISTOIRE DES SCIENCES ARABES

Roshdi Rashed avec la collaboration de Régis Morelon

Trois volumes : tome 1 Astronomie théorique et appliquée (432 p.), tome 2 Mathématiques et physique (432 p.), tome 3 Technologie, alchimie et sciences de la vie (332 p.) ; éd. Seuil 1997 (chaque volume 295 F)

Il est bien entendu que la science n'est pas plus arabe que juive, américaine ou chinoise. Elle est bien commun, mieux, oeuvre commune de l'humanité. Il se trouve seulement que son

développement, plus rapide dans certaines civilisations, plus lent à des époques où certains moyens manquaient, a été marqué par des oeuvres et des écrits de styles et de langages divers qui font un des attraits de son histoire. Il y a eu Babylone et la Grèce antique comme il y eut un XIX^{ème} siècle très européen, un XX^{ème} très américain et une grande période, du IX^{ème} au XIII^{ème} siècle où les meilleurs travaux scientifiques provenaient des civilisations arabes.

Un schéma très répandu donnait une vue simplifiée mais séduisante (au moins pour les Européens) de l'Histoire des sciences avec un grand H. Un triptyque : la fondation de la science théorique chez les Grecs - "Vive Euclide" -, l'invention de la science expérimentale à la Renaissance - Gloire à Galilée -, et, pour passer d'Archimède à Kepler, le bon service des Arabes transmetteurs des inventions de l'Inde et de la Grèce antique. Transmetteurs, c'est assuré, mais n'ont-ils été que cela ? Les moines copistes ont été aussi des transmetteurs mais les uns et les autres, en traduisant, en transmettant ont aussi inventé. Saluons donc la synthèse réunie par Roshdi Rashed (dont la contribution est surtout importante dans le tome 2, pour sa spécialité, les mathématiques) qui a su harmoniser les contributions des bons spécialistes historiens et scientifiques.

Le tome 1 est tout entier consacré à l'astronomie qui, sans aucun doute, a joué un rôle de premier plan dans la civilisation arabe. Faut-il y voir l'intérêt pratique qu'y portaient les croyants musulmans pour choisir les heures de la prière et l'orientation de leurs prosternations ? Ont dû favoriser ces recherches, les conditions climatiques des régions habitées par les populations arabes, qu'elles

aient été sédentaires ou nomades. Du IX^{ème} au XIII^{ème} siècle, période considérée, l'astronomie est dominée par le système de Ptolémée. Régis Morelon en donne un panorama général distinguant deux périodes, la première jusqu'au XI^{ème} siècle est dominée par l'étude de Ptolémée jusqu'au bilan critique qu'en dresse Ibn-al-Haytam (mort en 1040), la seconde, après le XI^{ème} siècle voit deux tendances se développer pour surmonter les défauts du système ptolémaïque, soit par un retour aux sphères homocentriques des Grecs, solution préférée dans l'occident musulman, alors qu'en Orient on s'en tient aux épicycles et aux excentriques.

La contribution de George Saliba, Les théories planétaires en astronomie arabe après le XI^{ème} siècle est donc encore consacrée aux perfectionnements du système de Ptolémée. Ce qui ne va pas sans problème pour le lecteur moins familier que les astronomes de l'époque avec la terminologie spécifique (ici, une réserve sur l'index des concepts, à mon avis incomplet ; un glossaire aurait été bienvenu pour expliquer des mots comme *prosneuse* ou *auge*). C'est dans le Littré que je trouve AUGÉ : nom qu'on donnait à ce qui est aujourd'hui apsides ; de l'arabe aoudji, sommet. C'est encore dans le Littré que je trouve PROSNEUSE : déviation de l'axe de l'épicycle lunaire alors que dans l'ouvrage on parle de POINT DE PROSNEUSE ou point diamétralement opposé au centre du déférent (lunaire) par rapport au centre de l'univers. Et le centre de l'univers, c'est l'observateur, vous vous en doutez. Je cite ces difficultés de vocabulaire parce qu'elles ont émaillé mes difficultés de lecture.

Les observatoires portatifs, étudiés par Francis Madison, sont

tous les instruments arabes à usage pratique tels que globes célestes, sphères armillaires et surtout astrolabes fort prisés par les grands voyageurs que furent les peuples arabes. Ptolémée devait connaître les propriétés géométriques de la projection stéréographique (application toujours citée de l'inversion dans ma jeunesse) puisqu'il a écrit un traité, le **Planispherium**, mais l'ouvrage a été perdu. D'où problème passionnant, qui a inventé ou réinventé l'astrolabe ? Est-ce al-Fazari qui vivait à Bagdad à la fin du IX^{ème} siècle et qui avait pu connaître le **Traité sur l'astrolabe planisphérique** écrit en syriaque par Sevrès Sebokth de Nisibe au milieu du VIII^{ème} siècle ?

Au cours des âges, l'astrolabe s'est modifié. Les lecteurs de notre **HS3 - Le temps et les constellations**, qui avaient été passionnés par la fiche sur l'astrolabe mise au point par Cécile Schulman-Decaux, seront, ici, dans l'étude de Madison, comblés d'informations sur tous les types d'astrolabes, les universels, les linéaires, les sphériques...

Le chapitre Astronomie et société musulmane par David A. King nous explique pourquoi la Qibla est la direction "sacrée", question qui n'est pas sans lien avec l'orientation de la Ka'ba, le monument central de la Mécque. Les plus anciens textes relatifs à cette orientation datent du VII^{ème} siècle. La fixation des heures de prière et l'orientation des prosternations exigeaient des muezzins non seulement une forte voix - pour que leurs appels portent au loin - mais aussi une bonne culture astronomique ce qui a favorisé le développement populaire de cette science.

Les peuples arabes, grands voyageurs, ont développé de grandes connaissances en géodésie et cartographie, étudiées par

Edward S.Kennedy. Citons cette mesure de la Terre en suivant un méridien, on mesure la distance parcourue lorsque la latitude a varié de 1° ; en multipliant cette distance par $360/\pi$ on trouve le diamètre de la Terre (le degré de méridien avait été trouvé équivalent à 56 milles arabes plus $2/3$).

La science nautique arabe par Henri Grosset-Grange, ne concerne pas seulement la Méditerranée mais aussi et surtout l'Océan Indien. Ces hardis navigateurs y apprirent l'usage de l'aiguille aimantée.

Les trois derniers chapitres traitent du Développement de la science arabe en Andalousie (Juan Vernet et Julio Samso), de L'héritage de la science arabe en hébreu (Bernard R. Goldstein) et enfin de L'influence de l'astronomie arabe en Occident médiéval (Henri Hugonnard-Roche) ce qui nous touche de près, l'influence des astronomes des XII^{ème} et XIV^{ème} siècle sur Copernic ne peut avoir été sans portée.

Je voudrais pour finir souligner la diversité des origines des participants à ce beau volume: Roshed et Morelon (CNRS), Goldstein (Université de Pittsburgh), Grosset-Grange avait été capitaine au long cours, Hugonnard-Roche (CNRS), Kennedy (Univ. de Beyrouth), King (Univ. de Francfort), Madison (Univ. Oxford), Saliba (Univ. Columbia), Samso et Vernet (Univ. de Barcelone). La science arabe patrimoine de l'humanité.

Gilbert Walusinski

L'UNIVERS

Jean Audouze

Collection "Que sais-je ?" n° 687
édition PUF 1997

Ce nouveau "Que sais-je ?" reprend sous le même titre et le même numéro le sujet traité en

1955 par Paul Couderc. Auteur et lecteurs sont donc mis une fois de plus devant une politique éditrice délibérée : le louable souci de mise à jour permanente de la véritable encyclopédie populaire que constitue la collection des "Que sais-je ?" avec l'inconvénient de rejeter aux oubliettes l'ouvrage ancien qui, dans le cas présent avait été revu par Jean-Claude Pecker en 1982. Et cette fois la comparaison des exposés ne manquerait pas d'intérêt aussi bien du point de vue scientifique qu'historique.

La nouvelle version ne ferait en rien regretter l'ancienne si, dans son premier chapitre "Histoire du concept d'Univers", Jean Audouze n'avait laissé passer quelques négligences de rédaction, du genre "les propriétés réfractrices des miroirs concaves" (p.10) ou "jusqu'à la Renaissance, l'Univers observable se limite à la Terre considérée comme plate" (p.8) affirmation démentie à la page suivante par une explication bien schématique de la mesure de la Terre par Eratosthène. Ne dramatisons pas, même aux plus hauts niveaux de la République, personne n'est à l'abri d'un lapsus historique.

Jean Audouze se retrouve parfaitement à l'aise, dans son chapitre 2, "Comment voir et comprendre l'Univers" pour passer en revue les progrès de l'exploration. Grâce en particulier aux satellites, toutes les gammes de longueurs d'onde sont aujourd'hui captées (sans le satellite, nous étions enfermés dans notre atmosphère), de la radioastronomie aux rayonnements X et Gamma en passant par les ultraviolet et les infra-rouge. Chaque domaine nouveau exploré posant ses problèmes. Il y a aussi les autres sources d'information, rayons cosmiques, astronomie des neutrinos, recherche des ondes

gravitationnelles, etc. Techniques nouvelles d'exploration vont de pair avec réflexion théorique sur les modèles et sur LE modèle qui englobe tous les autres, c'est à dire la conception cosmologique de l'Univers.

Le chapitre 3, "Les habitants du ciel ou les différents composants de l'Univers" dresse un tableau réussi du chantier de travail des astronomes contemporains, une lecture de quarante pages passionnantes fait bien sentir le climat vivant de la recherche astronomique... Je suis moins enthousiaste sur les quarante pages suivantes, "L'histoire de l'Univers", dans lesquelles Jean Audouze a eu l'ambition d'y faire tenir une présentation qui soit complète et pourtant accessible au plus large public. La nécessité d'être bref (format de la collection) est-elle toujours compatible avec le besoin de clarté du lecteur non spécialiste ? Le dit lecteur est pourtant reconnaissant à l'Auteur d'avoir tenté... l'impossible sur le plus passionnant des sujets.

G.W.

Un rapport sur les IUFM par une commission spéciale de la Société Française de Physique

Polycopié de 36 pages fourni par la SFP, 33 rue Croulebarbe, 75013 Paris.

A l'initiative de Pierre Léna, astrophysicien, la Société Française de Physique a constitué une commission chargée d'enquêter et de réfléchir sur l'enseignement de la physique dans les IUFM. Réunissant des physiciens de l'enseignement supérieur et des IUFM, la commission a travaillé de janvier 1992 à mai 1995.

La première partie du rapport analyse la situation de l'enseignement de la physique pour les futurs professeurs d'école.

Constat, faible pourcentage de candidats à ce professorat d'école possédant une bonne formation en physique ; exemple de l'IUFM de Cergy, 8 licenciés scientifiques sur 280 candidats. L'enseignement de la physique en option ne touche que 5% des candidats et ne doit pas se fixer comme objectif un simple rattrapage.

Propositions constructives de la commission :

1) Définition d'une leçon de sciences à partir de l'exemple du thème de l'évaporation ; il s'agit de montrer aux futurs maîtres **qu'enseigner les sciences est possible** : préparation collective d'une leçon au sein de l'IUFM, première ébauche individuelle, critique du groupe, rédaction d'une leçon de synthèse.

2) Constitution d'une salle de sciences comportant un coin atelier des manipulations une bibliothèque avec présentoir de revues, un coin informatique, etc.

3) Prévoir une formation permanente des maîtres selon le principe **on sort de l'IUFM mais on ne le quitte pas**. La salle de sciences de l'IUFM devrait être le lieu de rencontre de toutes les initiatives pédagogiques, le lieu d'organisation d'un réseau de compétences et enfin le lieu d'organisation et de rencontre de stages thématiques.

A la lecture de ce rapport, j'ai retrouvé les objectifs que j'imaginai, pour les professeurs de mathématiques et les IREM alors que l'idée de la formation permanente des maîtres n'avait pas encore atteint les sommets escarpés de la rue de Grenelle. Dans l'immédiat, commençons par suggérer aux IUFM cette idée d'un présentoir des revues dans la bibliothèque. On pourrait y faire figurer ce rapport sur la physique

dans les IUFM et, pourquoi pas, les CAHIERS CLAIRAUT.

G. W.

LA MAIN A LA PÂTE

Les sciences à l'école primaire
présenté par Georges Charpak

Un volume de 160 pages ; édition Flammarion 1996 (50 F)

Persuadé du rôle essentiel joué par la science dans nos sociétés contemporaines, Georges Charpak est aussi inquiet des réactions de désenchantement que manifeste parfois un public mal informé. Or cette mauvaise information, provient, entre autres causes, de l'insuffisance de l'enseignement des sciences dès l'école primaire. Avec un groupe d'une quinzaine de scientifiques et de pédagogues, il a réfléchi aux moyens de promouvoir un enseignement des sciences à l'école primaire et maternelle en s'inspirant du programme Hands-on qui a été développé dans certains pays des Etats-Unis.

Le mouvement La main à la pâte (je dis "mouvement" plutôt que programme qui connote l'idée d'obligation d'étudier tels ou tels sujets), ce mouvement donc soutient une expérimentation dans 350 classes de l'école primaire dans le climat des méthodes actives. En s'appuyant sur la grande curiosité des enfants pour leur environnement et les choses de la nature, il s'agit de mettre les écoliers sur la voie des découvertes. Travail de recherche en équipe sous la direction souple des maîtres en utilisant des matériels simples.

Il faut persuader les maîtres qu'enseigner les sciences est ainsi possible (voir ci-dessus le rapport de la SFP sur les IUFM). La main à la pâte se trouve devant le problème de la formation des maîtres que nous avons rencontré lorsque

nous avons voulu promouvoir l'enseignement de l'astronomie, à Grenoble, en 1976. Il a fallu attendre les retombées pédagogiques de l'école d'été de Lans-lebourg (1977) pour que le mouvement en faveur de l'enseignement de l'astronomie se dessine. Pour La main à la pâte, il faudra aussi des stages et une effort continu de coopération pédagogique pour que cette heureuse initiative porte ses fruits.

On peut s'étonner que, dès son lancement, ce mouvement ne fasse pas la moindre allusion à l'observation du ciel. Nous savons pourtant la curiosité des enfants pour l'observation du ciel et leurs aptitudes à y redécouvrir les grandes lois du temps et du mouvement.

Remarquons aussi que, dans un sens, La main à la pâte n'innove pas. Paul Bert avait préconisé la "leçon de choses" qui, à l'époque, participa à l'éveil de vocations scientifiques. Il y eut aussi les "études du milieu" dans les classes nouvelles de 1950 et nous apprécions toujours le travail des BT réalisé par les équipes Freinet. Toutes ces réalisations ont eu ou ont encore leur efficacité. Mais pour former de jeunes esprits, des méthodes nouvelles, des conceptions neuves de travail en équipe avec des moyens techniques nouveaux rendus accessibles à tous, sont toujours à inventer.

Souhaitons donc bel avenir à La main à la pâte et à ce mouvement si heureusement parrainé.

G.W.

ARGOS, veilleur de la Terre Les routes de l'espace

Jean-Pierre PENOT

Deux BT, n°1088 et 1092 réalisés par le Centre National d'Etudes Spatiales

Dans notre CAHIER 80, Lucienne Gouguenheim a eu la bonne idée d'associer l'oeuvre pédagogique du CNES, - c'est-à-dire essentiellement celle de Jean-Pierre Penot -, à celle menée depuis vingt ans par le CLEA. Le CLEA continue, les BT également.

Avec la BT 1088, vous saurez tout sur le fonctionnement d'Argos et sur tous les services qu'il peut rendre. Avec la BT 1092, comment les lancements permettent de prévoir les orbites des satellites, le cas des géostationnaires, celui des héliosynchrones, celui des orbites tournantes. Et dans chaque BT, comme toujours, une page documentaire ou historique et une page d'actualité.

G. W.

PARUTIONS RECENTES

Simple relevé de titres en attendant l'analyse des contenus.

- Le Soleil en face par Pierre

Lantos ; 198 p.; éd Masson 1997.

- La Bioastronomie par F.

Raulin, F. Raulin-Cerceau, J. Schneider ; collection "Que sais-je ?" n° 3316 ; éd. PUF 1997.

- Les origines de l'Univers par John Barrow ; 165 p.; éd Hachette 1997.

- Les noyaux actifs de galaxies par Max Camenzind ; 218 p.; éd Springer 1997.

- 50 ans d'astronomie par Audoin Dollfus ; 200 p.; éd EDP 1997.

- Introduction aux éphémérides astronomiques par le Bureau des Longitudes ; 460 p.; éd EDP 1997.

DANS LES MEDIAS

- Entendu à la radio, lors du passage de l'heure d'été à l'heure d'hiver, le 26 octobre 1997 "Bonne nouvelle : demain, nous allons pouvoir dormir une heure de plus. Deuxième bonne nouvelle : les températures vont se réchauffer car nous n'aurons plus qu'une

heure de retard sur le Soleil."

Question : suffit-il de retarder nos montres de quelques heures pour avoir plus chaud ?

- Le Monde du 18 décembre 1997 : Le ciel de Rome étant pollué, les jésuites-astronomes du Saint-Siège se sont installés dans l'observatoire du mont Graham en Arizona pour mieux scruter l'oeuvre admirable de la création divine dans son évolution et dans son immensité. Chris Jeorally, de la Compagnie de Jésus, directeur-adjoint de l'observatoire déclare sa foi dans l'avenir : "Si on découvre des civilisations sur les autres planètes et s'il est possible de communiquer avec elles, nous enverrons des missionnaires pour les sauver."

Question : ne serait-il pas préférable de commencer par informer les civilisations extraterrestres du sort qui fut réservé aux civilisations précolombiennes ?

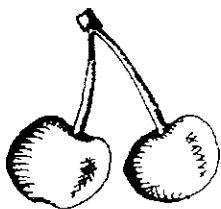


En revenant de Saint-Etienne

Les effusions d'amitié dont j'ai été l'objet, lors de cette assemblée générale des vingt ans du CLEA m'avaient évidemment beaucoup touché. A ce point que, bavard incontinent en d'autres circonstances (voir la collection des CC), je fus alors sans voix pour y répondre, voire même et seulement remercier. Au retour, bercé par roulement du TGV, j'essayais de reprendre mes esprits.

Les Amis qui m'ont ainsi manifesté leur estime, je serais le pire des ingrats si je les blâmais d'avoir été aussi généreux à mon égard. Je pense pourtant que ce qui fait la valeur inestimable des activités du CLEA, c'est leur caractère collectif. Personne n'a voulu que l'équipe soit ce qu'elle a été et continue à être. Les individus se sont groupés. Il y a eu les amateurs et constructeurs de cadrans solaires aussi bien que les dévots des lois de Kepler, il y a eu les passionnés d'étoiles variables aussi bien que les acharnés à l'évaluation de la constante de Hubble. Il n'y a pas eu de Big Bang originel mais la journée de Grenoble (1976) fut le signal et l'école d'été de Lanslebourg la véritable fondation. Pensez si vous voulez bien à la nébuleuse tournante qui va fabriquer, avec le temps, le Soleil, les planètes, et, dans la masse, les quelques atomes qui devaient former la Terre. De même, après Lanslebourg, d'autres écoles d'été, d'autres stages, d'autres assemblées générales et l'équipe du CLEA s'est formée à la manière dont Montaigne raconte son amitié avec La Boétie : parce que c'étaient eux, parce que c'étaient nous.

G.W



Soleil en Guadeloupe

Lucette Bottinelli, Jacky Dupré, Michèle
Gerbaldi et Lucienne Gouguenheim

VIE ASSOCIATIVE

Annoncer que l'on s'envole pour la Guadeloupe un 2 janvier, cela ne fait pas sérieux : vaines nos protestations ... tous nous enviaient un Soleil promis.

Pourtant, nous partions plus lourds de bagages astronomiques que de maillots de bains, à la rencontre d'une bonne soixantaine d'enseignants guadeloupéens, et, pour commencer, de l'amie Chantal Lagny-Vandais et d'une autre amie, encore inconnue, Christiane Thirion, responsable de la Mission d'Action Culturelle de l'académie de la Guadeloupe. Une éclipse totale de Soleil, cela se prépare : Christiane et Chantal s'y étaient employées dès l'été. Rien ne manquait, dès l'aéroport, où Chantal nous attendait, les bras remplis de fleurs tropicales, puis avec le premier ti'punch dans notre résidence du "bungalow bleu"...

L'énergie des organisatrices avait vaincu toutes les difficultés : trop tard pour un stage MAFPEN, trop de complications pour une Université d'été, ... la rencontre fut donc baptisée "séminaire" ; elle se déroula dans le lycée de Sainte Anne - comment remercier le proviseur qui mit à notre disposition salles, matériel, photocopies, à toute heure du jour et, parfois aussi, de la nuit : le ciel de la Guadeloupe vaut qu'on lui sacrifie un peu de son sommeil.

Ils venaient de toute l'île ainsi que de celle de Saint Martin, instituteurs, professeurs de collège ou de lycée, de disciplines variées, (occasion rare pour nous, nous avons eu le plaisir de rencontrer des enseignants de lycées agricoles et d'échanger avec eux sur les problèmes de la culture de la banane dans les perspectives européennes) ayant en commun le désir de préparer l'évènement qu'est une éclipse totale de Soleil, et de prolonger cet évènement par des activités suivies d'astronomie. Nous avons alterné cours et travaux pratiques, sur le modèle des Ecoles d'été : mesure de la température du Soleil, analyse de son spectre, cadran solaire et "saladier de la course du Soleil", construction d'une carte céleste mobile, adaptée à la latitude locale - merci à Jean-Claude Otz qui avait posé et résolu le problème des "deux horizons" lors d'une Université d'été du CLEA - maquettes et diapositives illustrant phases et éclipses, sans oublier l'utilisation des logiciels. Dans l'esprit des Ecoles d'été aussi, la participation de deux "anciens des universités d'été", Chantal et Jean-Claude à l'encadrement des activités, la ferveur au travail, la gaîté et la qualité des échanges. Nous avons eu de la peine à nous quitter ; on nous a fait la promesse d'articles pour les Cahiers, relatant l'éclipse du 26 février et donné de quoi lire dès l'avion : ce que Chantal appela joliment un "livre de poèmes" dans lequel chacun avait écrit son commentaire sur le stage ; faut-il cacher que nous avons écrasé une petite larme ?

Le séjour fut aussi l'occasion pour nous de rencontrer les membres de l'association des enseignants de physique et technique, animée par Jean-Claude Otz et de voir s'organiser la présence - déjà bien effective - du CLEA dans l'Académie : pas moins de trois correspondants, Nicole de Chadirac, Michel Dufourg et Chantal Lagny-Vandais. Vous entendrez certainement reparler d'eux ... ■

Compte-rendu de l'Assemblée Générale de l'EAAE France le 24 Janvier 1998 à Paris.

Josée Sert

◆ Nous étions 18 à nous réunir. En tant que représentante nationale de l'EAAE pour la France, j'ai fait un bilan de deux ans d'existence de l'association européenne :

L'EAAE compte au moins 300 membres (pays ayant fourni une liste au 1er Janvier : Allemagne : 50, Autriche: 11, Espagne : 11, Estonie : 2, Finlande : 14, France : 48, Géorgie : 1, Grèce : 8, Italie : 30, Portugal : 22, Royaume Uni : 9, Suède : 79). Elle a à son actif le succès d' « Astronomy On Line », et trois des groupes de travail constitués à Athènes ont une existence réelle à travers des réunions ou un travail commun par correspondance (WG1 : Concepts astronomiques dans les cursus scolaires, WG3 : Formation des Enseignants et WG4 : Projets européens pour les élèves). Mais elle n'a pas eu de secrétaire pendant plus d'un an (donc, pas de mémoire des décisions ou de maintien de contact avec les représentants nationaux) ; l'éditeur du journal (Newsletter) n'a pas reçu d'articles malgré ses demandes et le journal n'a pas paru depuis 1996 ; les cotisations n'ont pas été perçues par le trésorier (les frais de virement étant souvent plus chers que leur montant...). Si le bilan financier n'est pas catastrophique, c'est que la somme versée par la Communauté Européenne pour Astronomy On Line a été importante, à hauteur de prestations que des associations ou organismes ont fourni gracieusement en soutien. Mais il n'en reste pas moins qu'une association a d'autant plus besoin d'argent pour fonctionner qu'elle est européenne, que la moindre réunion coûte très cher en déplacements et que les communications, même électroniques, sont souvent prises en charge par les membres actifs. Ceux-ci d'ailleurs se retrouvent souvent les mêmes à travailler dans les Groupes de Travail ou pour les opérations comme « Astronomy On Line ». On ne sait pas par exemple comment financer la participation des délégués à l'Assemblée Générale de Stockholm en Septembre 1998...

◆ Lucette Mayer et Jean-Luc Fouquet ont présenté le travail du WG1, animé par Rainer Gaitzch (Allemagne) et Felishela Martins (Portugal) : neuf de ses douze membres ont participé à une rencontre

à Porto en Novembre 1997, où le groupe s'est à la fois réuni (réflexion sur un programme européen commun d'enseignement de l'Astronomie aux 9-12 ans), et a apporté des contributions sur l'enseignement de l'Astronomie dans un congrès d'enseignants portugais. Jean-Luc Fouquet y a fait part de son travail de recherche sur l'enseignement à partir des conceptions préexistant chez les élèves. Cette rencontre fut particulièrement enthousiasmante. Prochaine rencontre prévue : à Toulouse en 1999.

◆ Frédéric Dahringer a présenté la première Ecole d'Eté de l'EAAE en Catalogne en Juillet 97, organisée par Rosa Maria Ros dont la ténacité et le travail de préparation ont été remarquables : elle n'a reçu aucune aide financière de l'EAAE, et elle a tenu à remercier le CLEA dont la promesse de contribution lui a permis d'aller jusqu'au bout. Il est dommage que des enseignants intéressés n'aient pu venir faute de financements possibles. Plusieurs langues étaient parlées par les animateurs : l'Anglais, l'Espagnol ou le Français ; les stagiaires avaient reçu dès le début une brochure avec le texte de chaque activité en Anglais et dans une des deux autres langues. Tout le monde, même la stagiaire venant de Lituanie, a été très satisfait de cette formule. Prochaine Ecole d'Eté, qui permettra aussi au Groupe de se réunir : en Juillet près de Rome.

◆ Francis Berthomieu a évoqué le travail du WG4, animé par le Danois Mogens Winther : des collaborations ont été menées entre des groupes d'élèves de divers pays au moment d'éclipses, ou pour expérimenter la mesure du rayon de la Terre d'Eratosthène, ou pour évaluer la distance au Soleil en utilisant un astéroïde.

◆ Le débat qui a suivi a mis en évidence la nécessité des rencontres, dans lesquelles les problèmes de langues finissent toujours par se résoudre sans le recours exclusif à l'Anglais.

◆ Une large discussion a porté sur l'organisation que nous voulons construire, elle a abouti aux conclusions suivantes :

1. L'EAAE doit être résolument européenne, on ne crée pas d'intermédiaire national ; elle doit afficher cette identité en impulsant des actions au niveau européen ; la diversité des langues et des cultures est une richesse qui ne doit pas être effacée par l'emploi de la langue anglaise pure, ce qui peut empêcher beaucoup de contribuer aux actions ou aux publications.

2. Elle doit renforcer son organisation au niveau international : le secrétariat doit être assuré rigoureusement pour une vie démocratique réelle (bonne connaissance de l'organisation dans les divers pays et de leurs richesses, clarté, publication et respect des décisions prises...) ; le Conseil Exécutif doit faire le maximum pour soutenir financièrement les initiatives en cours (il est en particulier inadmissible que la Commission « Support Financier » n'ait jamais rien fait, ni pour faire connaître les possibilités de subventions aux Groupes de Travail, ni aucune proposition pour l'Assemblée Générale de Stockholm de Septembre 1998 !). Enfin, il serait souhaitable qu'il favorise les propositions d'action à long terme pour un travail en profondeur et non dans l'urgence, ce qui favoriserait une appropriation et une prise en charge par un ensemble plus large que les « militants » habituels.

3. Le CLEA fournit une très grande partie des adhérents français, car il se reconnaît dans les objectifs de l'EAAE au niveau européen. Si l'essentiel de son action reste au sein des astronomes et enseignants français, sa grande expérience l'autorise à soutenir activement dans l'EAAE tout ce qui concerne la réflexion sur l'enseignement de l'Astronomie, la formation des maîtres, les expériences menées avec d'autres écoles dans toute l'Europe. Le CLEA est donc bien distinct de l'EAAE : d'une part, par sa dimension nationale et la prise en charge des domaines spécifiques qui en découlent, d'autre part du fait que les buts de l'EAAE visent une éducation en Astronomie plus large que celle réservée aux seuls domaines scolaire (planétariums, centres scientifiques).

◆ Deux informations ont été enfin données sur :

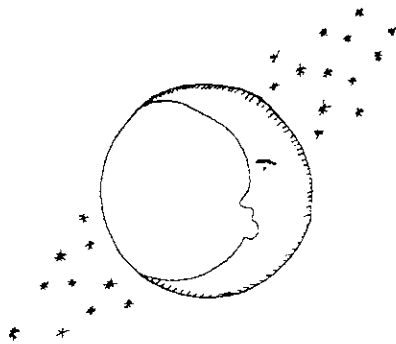
- le projet « Sea and Space », présenté par Bernard Pellequer : c'est un projet commun ESO (European Southern Observatory), ESA (European Space Agency) et EAAE à l'occasion de l'exposition universelle de Lisbonne en 1998. Il sera sans doute soutenu financièrement par la Communauté Européenne. Interdisciplinaire, il concerne trois grands domaines : la télédétection (l'ESA est très

désireuse de faire profiter les établissements scolaires de son fonds d'images satellite, et est prête à fournir les logiciels pour les exploiter), la navigation (ici intervient l'Astronomie pour les méthodes historiques utilisées pour la détermination des positions) et l'eau (l'eau et les océans vus dans les temps anciens, la détection de l'eau sur Terre et dans l'espace,...). Un concours d'affiches (ou journal mural) est organisé pour les scolaires à différents niveaux sur ces thèmes (écoles, collèges, lycée, cela pouvant aller de dessins jusqu'à un papier scientifique). La récompense sera pour des petits groupes d'élèves un voyage à Lisbonne fin Août 1998. Il est regrettable que les échéances soient très courtes, ce qui permet seulement de faire une information superficielle vers les établissements scolaires qui ne pourront approfondir beaucoup un thème faute de temps.

- la coordination Grand Est Europe pour l'éclipse totale d'Août 1999, présentée par François Schnell, du Planétarium de Strasbourg : elle se donne pour mission de susciter et coordonner les projets mis en place à cette occasion. A ce jour, plusieurs projets sont déjà bien engagés : un numéro spécial des Cahiers de l'ARIENA sur le Soleil en français et en Allemand, une maquette géante franco-allemande du Système Solaire (au cent millionième), les « Yeux de l'Europe » (réseau de vidéos permettant, dans des villes tout au long de la ligne de totalité, de voir ce qui se passe dans les autres et donc de « suivre » l'éclipse), une Université d'Été CLEA, un site Internet déjà ouvert (<http://astro.u-strasbg.fr/Obs/PLANETARIUM/eclipse99.html>) et un colloque international sur le Soleil.

◆ Cette réunion, très dense, n'a pas permis d'approfondir autant que nous l'aurions voulu tous les sujets, ni de prendre connaissance des expériences des uns ou des autres, et c'est dommage. Il restait pour terminer à trouver un nouveau représentant national puisque je ne peux plus assurer ce rôle, étant devenue en Octobre dernier secrétaire de l'EAAE. Bernard Pellequer, de Géospace d'Aniane, a accepté, Michel Van Haute continuera de gérer la trésorerie, et pour assurer une certaine continuité, je prendrai en charge certaines tâches de secrétariat en collaboration avec Bernard.

Les adhésions, on l'aura compris, sont indispensables pour la vie de l'organisation ! Le montant en est de 70 F (en théorie 10 EUROS), à verser par chèque à l'ordre de l'EAAE et à envoyer à Bernard Pellequer, Géospace Observatoire d'Aniane, 929 rue d'Alco, 34080 MONTPELLIER. ■



LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Lucette Bottinelli

Les molécules organiques de la météorite martienne ALH84001 sont d'origine terrestre.

Un "scoop", abondamment répercuté par les médias dans le calme estival d'août 1996, nous avait appris que des traces de vie sur la planète Mars avaient été révélées par l'analyse d'une météorite d'origine martienne, dénommée ALH84001. Cette météorite avait été découverte en 1984 par la géologue américaine Roberta Score dans le champ de glace qui se trouve à l'Ouest des monts Allan (Allan Hills), en Antarctique, ce qui explique l'origine du nom de la météorite. On y avait observé des molécules organiques identifiées à des fossiles de bactéries martiennes.

Pourquoi la météorite est-elle martienne ?

Deux indications vont en ce sens. D'une part l'analyse des minuscules bulles de gaz emprisonnées dans la roche, montre une composition chimique et isotopique analogue à celle de l'atmosphère de Mars, telle que nous la connaissons depuis les sondes Viking. D'autre part, les différentes régions du système solaire sont caractérisées par des abondances relatives des isotopes 16, 17 et 18 de l'oxygène bien définies.

Ces abondances, mesurées dans les silicates de la météorite, ont les caractéristiques de Mars.

On imagine donc que ALH84001 a été produite par l'impact violent d'un astéroïde sur la planète Mars, suivi de l'éjection d'une roche (il y a 16 millions d'années environ) captée par l'attraction terrestre et enfouie dans l'Antarctique.

D'où proviennent les molécules organiques ?

Les résultats récents obtenus par deux groupes de chercheurs américains, à partir d'une analyse fine par spectrométrie de masse, ont fourni la teneur en carbone 13 et en carbone 14, séparément pour la composante organique et pour les carbonates de la météorite. Ils démontrent l'origine terrestre de la composante organique.

L'argument décisif est que l'abondance en carbone 13 de la composante organique est en excellent accord avec celle des matériaux organiques terrestres ordinaires.

Les résultats concernant le carbone 14 (l'isotope radioactif du carbone) apportent une description complémentaire cohérente. En effet, ce carbone radioactif est produit dans les silicates sous l'effet des rayons cosmiques, qui transforment l'azote 14 en carbone 14. L'analyse du taux de désintégration du carbone 14 permet d'établir que la météorite est tombée sur Terre il y a 13 000 ans.

Par contre, il n'y a pas de mécanisme produisant du carbone 14 dans les composants organiques. Ainsi, les composants organiques qui seraient d'origine martienne ne pourraient contenir qu'une quantité négligeable de carbone 14 avant de tomber sur la Terre. On en a cependant trouvé, et suffisamment même pour évaluer un âge de 5200 à 11 000 ans (il s'agit ici de la durée écoulée depuis l'arrivée de la météorite sur Terre).

Il est donc clair que la composante organique et les carbonates de la météorite ne proviennent pas de la même source. La composante organique est d'origine terrestre, et a subi probablement plusieurs phases de contamination.

La seconde étude indépendante, qui concerne une analyse poussée des acides aminés de la météorite, arrive à une conclusion analogue : des acides aminés sont présents à très faible dose et sont clairement d'origine terrestre, similaires à ceux trouvés dans les glaces de l'environnement antarctique.

On découvrira peut-être un jour des traces de vie ancienne sur Mars. Mais il semble difficile que cela puisse se faire à partir de la seule étude d'un aussi petit fragment de la planète.

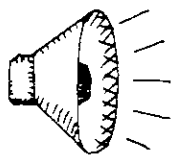
Les sources transitoires de rayonnement gamma sont-elles des traceurs des objets les plus lointains de l'Univers ?

Il a déjà été question de ces sources (désignées par "GRB", pour "Gamma-Ray Bursts") dans le n°79 des CC : leur caractère extragalactique semble maintenant bien établi et les scénarios les plus plausibles expliquant l'origine de leur énergie, mettent en jeu le stade final d'évolution des étoiles massives (comme par exemple, la fusion de deux étoiles à neutrons dans un système binaire, l'effondrement d'une étoile très massive en trou noir).

Les astronomes de Cambridge (Grande-Bretagne) viennent d'explorer théoriquement les conséquences d'une telle origine liée à l'agonie des étoiles massives. Ces étoiles ayant une durée de vie très courte (de l'ordre de quelques millions d'années au plus), elles peuvent pratiquement être considérées comme instantanément "recyclées" sur les lieux de leur formation, en résidus donnant naissance aux GRB, lorsque l'on se place sur l'échelle de temps qui est celle de l'âge actuel de l'Univers (environ 12 milliards d'années). A partir de la description du taux de formation d'étoiles massives à chaque époque de l'histoire de l'Univers, il est possible de calculer combien de GRB sont produits à chaque époque et compte tenu de la durée de parcours du signal à la vitesse de la lumière, de prévoir combien de GRB devraient être observés actuellement, pour chaque niveau d'intensité.

La comparaison de ces prédictions théoriques avec les intensités observées pour un grand nombre de GRB montre que les sources les plus faibles observées actuellement ont été produites alors que l'Univers avait seulement un vingtième de son âge actuel ; si leur décalage spectral relatif vers le rouge, z , pouvait être mesuré, cela correspondrait environ à $z = 6$ (on rappelle que z est défini à partir du décalage $\Delta\lambda$ des raies par la relation : $z = \Delta\lambda / \lambda$). Jusqu'à présent, les plus grands décalages mesurés sont ceux des quasars (avec des valeurs voisines de 4,9).

Ces recherches, outre leur intérêt pour l'étude des GRB, ouvrent de nouvelles perspectives pour préciser les phases initiales de l'Univers, à l'époque où les premières étoiles et les galaxies se sont formées. De futurs satellites gamma plus sensibles qui permettraient de détecter des GRB encore plus faibles, donneraient accès aux résidus de la mort des étoiles de la toute première génération. ■



Le "MILLENIUM STAR ATLAS"

Ultime aboutissement
de la mission Hipparcos de l'Esa

Ce résumé d'un communiqué de presse de l'Agence Spatiale Européenne, transmis par Francette Delmas, nous fournit des renseignements précieux sur les différentes façons d'accéder aux résultats de la mission d'astrométrie spatiale du satellite HIPPARCOS.

L' ESA annonce avoir terminé la publication de son monumental travail de cartographie des positions des étoiles de la voûte céleste, qui représente le plus grand pas en avant jamais accompli dans la connaissance de la répartition des étoiles de notre Galaxie. Plusieurs équipes européennes travaillent, depuis le lancement d'Hipparcos en 1989, à l'élaboration et à la publication des **catalogues Hipparcos et Tycho**. Les mesures qui y sont consignées sont au moins dix fois plus précises que celles qu'avaient données les précédents travaux de cartographie du ciel.

Depuis le mois de juin 1997, les astronomes du monde entier peuvent accéder aux données de ce vaste recensement stellaire. Elles sont disponibles :

- via le site Web Hipparcos de l'ESA

(<http://astro.estec.esa.nl/Hipparcos>).

Ce site contient des images en trois dimensions de notre Galaxie telle que l'a observée Hipparcos et plusieurs animations : déplacements d'étoiles à travers l'espace mesurés pour la première fois par le satellite, étoiles variables, planètes mineures gravitant autour du Soleil.

- via différents centres de données stellaires

- sous la forme d'une collection de CD-ROM contenant les catalogues d'étoiles et leurs différentes annexes qui a été largement diffusée auprès des astronomes.

- sous la forme d'un catalogue en 17 volumes, mis à la disposition des observatoires astronomiques et des bibliothèques scientifiques.

Tandis que les premiers volumes présentent une certaine ressemblance avec un annuaire téléphonique rempli, page après page, de chiffres serrés, les trois derniers se présentent sous la forme de véritables cartes du ciel. Ils ont été élaborés dans le cadre d'une collaboration entre l'ESA, le projet Hipparcos et la société américaine Sky Publishing qui édite le mensuel "Sky & Telescope".

Ces trois volumes paraissent simultanément en grand format sous le titre "**Millenium Star Atlas**" aux éditions Sky Publishing et sont destinés aux astronomes professionnels et amateurs et aux professeurs enseignant l'astronomie. Cet atlas contient 1548 cartes du ciel qui renferment des informations sans équivalent

sur la nature de notre galaxie tirées des données stellaires rassemblées dans les catalogues Hipparcos et Tycho de l'ESA. Plus d'un million d'étoiles figurent dans cet atlas, c'est à dire trois fois plus que dans n'importe quel autre atlas existant. Parmi les étoiles proches, plus de 10000 sont accompagnées d'une vignette précisant leur distance en années de lumière telle qu'elle a été mesurée par Hipparcos. Sur les planches de cet atlas figurent également la position et la forme approximative de 8000 galaxies lointaines. La magnitude limite de l'atlas, correspondant aux limites des observations réalisées par Hipparcos, c'est-à-dire la magnitude 11 environ, fait apparaître des étoiles d'un éclat environ 100 fois moindre que celles qui peuvent être observées à l'oeil nu de sorte qu'elle est pleinement adaptée aux besoins de l'astronome amateur bien équipé. Pour plus de renseignements on peut se connecter au site web de Sky :

<http://www.skypub.com/msa/msa.html>



**Transparents animés
pour rétroprojecteur**

(50F-55F)

T1 Le TransSoLuTe

(phases de la lune et éclipses)

T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

FCR

Six feuilles de filtres colorés

et une feuille de réseaux

70F-75F (abonnés : 65F)

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

DIAPPOSITIVES

Série de 20 vues plus un livret de commentaires
60-65F (abonnés : 50-55F)

Publications du **CLEA**

Pour chaque publication,
le deuxième prix comprend
la publication et ses frais d'expédition.



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 60F-68F (abonnés : 40F-48F)
- HS5** Gravitation et lumière, niveau terminale
75F-83F (abonnés : 65F-73F)
- HS6** L'âge de la Nébuleuse du Crabe
avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies
niveau lycée
100F-110F (abonnés : 90F-100F)
- HS7** Étude du spectre du Soleil
50F-58F (abonnés : 42F-50F)

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

Cours polycopiés d'astrophysique

(M3.C4 de l'université
Paris XI-Orsay)

- CI**
Astrophysique générale
 - CII**
Mécanismes de rayonnement
en astrophysique
 - CIII**
États dilués de la matière :
le milieu interstellaire
 - CIV**
La structure interne des étoiles
 - CV**
Relativité et cosmologie
 - CS**
Astrophysique solaire : le Soleil
- Chaque fascicule : 30F-35F

CONDITIONS D'ADHÉSION ET D'ABONNEMENT POUR 1998

Cotisation simple au CLEA pour 1998	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 81 à 84	140 F

Abonnement aux **CAHIERS CLAIRAUT**

ET cotisation au CLEA pour 1998	190 F
---------------------------------	-------

Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
--	------

Le numéro des Cahiers Clairaut (port compris)	45 F
---	------

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

COLLECTIONS DES **CAHIERS CLAIRAUT**

C1 Collection complète du n° 1 au 80 (1 200 F - 1 300 F)

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

C90 à C97 (chaque 90 F - 100 F)

NB : Comme toutes les publications, le deuxième prix est celui qui correspond au tarif port compris.

Adresser inscriptions,
abonnements ou commandes à

CLEA

Laboratoire d'Astronomie Bât. 470

Université Paris Sud

91405 ORSAY Cedex

Chèque à l'ordre du CLEA

Publications...

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

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

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^{er} trimestre 1979
numéro d'inscription CPPAP 61600
Prix au numéro : 40 F