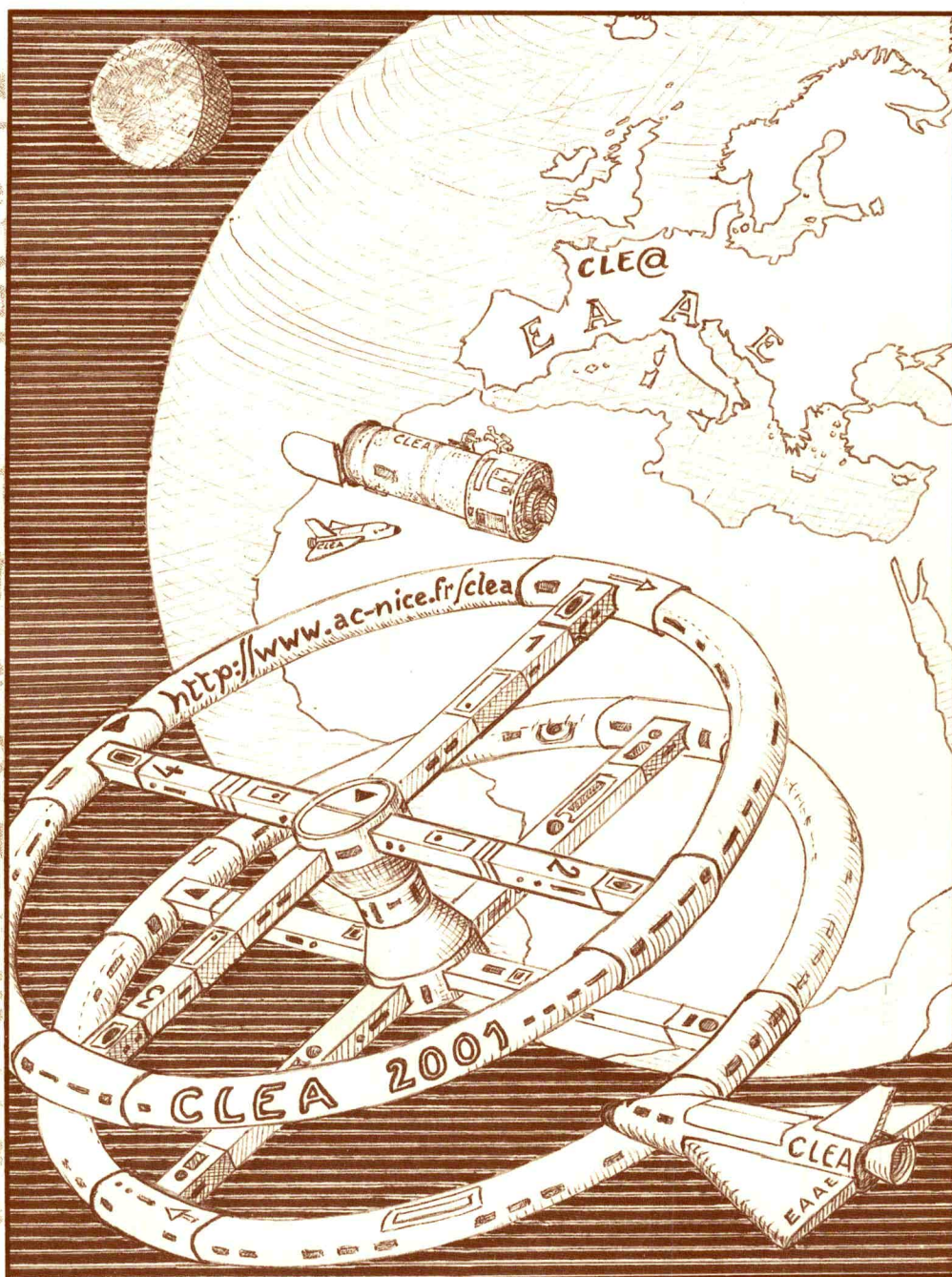


bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut

Lect
pour
et se
His
Ré
d'o
Ar
for
Réfle
déb
Inf
élève
Vic
Tex
exerc
Articles
Les p



numéro 96 - HIVER 2001-2002

ISSN 0758-234X

Le CLEA

Comité de liaison enseignants astronomes

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

agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

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

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

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



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex
Tel / Fax : 01 69 15 63 80
Le CLEA est présent sur Internet à l'adresse :
<http://www.ac-nice.fr/clea>

Bureau du CLEA pour 2001

Présidents d'honneurs

Jean-Claude Pecker
Evry Schatzman

Présidente

Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents

Agnès Acker
Marie-France Duval
Jean Ripert
Josée Sert
Gilbert Walusinski

Rédactrice en chef

Martine Bobin

Trésorière

Béatrice Sandré

Secrétaires

Martine Bobin et Catherine Vignon

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin
Francis Berthomieu
Martine Bobin
Michel Bobin
Lucette Bottinelli
Pierre Causeret
Frédéric Dahringer
Jacky Dupré
Charles-Henri Eyraud
Lucienne Gouguenheim
Christian Larcher
Marie-Agnès Lahellec
Colette Le Lay
Lucette Mayer
Georges Paturel
Jean Ripert
Josée Sert
Daniel Toussaint
Gilbert Walusinski

- Dans la molécule de méthane, le carbone est lié à 4 atomes H par 4 liaisons covalentes, la molécule ayant la forme d'un tétraèdre dont le centre est l'atome C.

- Dans la molécule d'ammoniac, l'azote est lié à 3 atomes H par 3 liaisons covalentes. Il reste donc un doublet d'électrons célibataires de la couche externe de N. La structure de tétraèdre avec l'atome N à l'intérieur est donc respectée.

- Dans le cas de la molécule d'eau, la structure de tétraèdre se retrouve avec les deux liaisons covalentes O-H et les deux doublets d'électrons célibataires. On peut également considérer que la molécule a la forme d'un V, qu'elle est pliée et qu'elle sera susceptible de vibrer selon plusieurs modes.

La réaction de formation de l'eau est exothermique : il suffit de faire brûler de l'hydrogène en présence d'oxygène. La réaction inverse est donc endothermique. Elle peut avoir lieu par voie photolytique suivant la réaction (1) :



Pour que cette réaction ait lieu, il faut qu'une liaison O-H soit rompue, ce qui nécessite un apport d'énergie supérieur ou égal à l'énergie de la liaison O-H soit 464 kJ / mole. Au niveau de la molécule, il suffit qu'un photon d'énergie au moins égale à 4,81 eV rencontre la molécule d'eau, ce qui correspond à un rayonnement de longueur d'onde $\lambda \leq 258$ nm. Lorsqu'il arrive sur les couches supérieures de l'atmosphère d'une planète, le rayonnement solaire dissocie par conséquent la vapeur d'eau et ceci jusqu'aux altitudes où il est absorbé par l'ozone et l'oxygène. L'atome d'hydrogène libéré peut réagir avec un autre composé atmosphérique, comme le dioxygène ou l'ozone, mais il est soumis à une diffusion vers le haut et peut ainsi s'échapper vers l'espace si sa vitesse thermodynamique est supérieure à la vitesse d'échappement. Une question s'impose donc immédiatement : comment est-il possible que l'eau ait été conservée sur la planète Terre, alors que, sous forme vapeur, elle est un gaz léger (masse 18) si on la compare au dioxygène (masse 32) ou au diazote (masse 28) ? L'eau est donc susceptible d'atteindre les couches supérieures de l'atmosphère, de se dissocier et, finalement, d'échapper à l'attraction gravitationnelle terrestre.

La molécule d'eau est neutre ; elle ne possède pas de charge électrique. Toutefois, la molécule n'étant pas symétrique, si on l'examine en détail au plan électrique, on constate que les doublets d'électrons des liaisons covalentes se trouvent plus près du noyau de l'oxygène que des protons qui constituent les noyaux des atomes d'hydrogène. Une partie de la molécule est donc un peu plus négative, du côté de l'oxygène que l'autre partie, du côté des atomes d'hydrogène. Bien que la neutralité électrique soit respectée pour la molécule, cette dissymétrie crée un dipôle électrique caractérisé par un moment dipolaire. On dit encore que la molécule est polaire, ce que l'on indique en associant les symboles $2\delta^-$ à l'oxygène et δ^+ à chaque hydrogène.

L'existence d'un moment dipolaire permet d'expliquer de nombreuses propriétés de l'eau liquide et de la glace. Contrairement aux gaz, où les forces d'interaction entre les molécules se développent principalement lors des collisions, la cohésion d'un liquide ou d'un solide résulte de forces qui existent entre les molécules.

- Dans le cas de l'eau liquide, ces forces sont des forces du type dipôle-dipôle : les dipôles s'attirent comme des aimants, le pôle + par le pôle - et ainsi de suite. D'autres types d'interactions peuvent également se produire avec l'eau.

- Les forces ion-dipôle existent lorsque des ions se trouvent en solution dans l'eau. Considérons par exemple l'ion sodium Na^+ :



L'ion se combine avec un certain nombre de molécules d'eau ($n = 6$ probablement) pour donner un ion sodium hydraté. La solution laisse évidemment passer le courant électrique.

Les forces de dipôle induit se produisent lorsque la substance introduite dans l'eau n'est pas polaire, comme O_2 , ou CO_2 qui sont des molécules symétriques linéaires. Dans ce cas, au voisinage d'une molécule d'eau, le champ électrique près de cette molécule induit un dipôle dans la molécule O_2 ou CO_2 . Il en résulte une certaine solubilité dans l'eau.

Dans la catégorie des forces dipôle-dipôle, il existe un type de forces que l'on rencontre fréquemment : il s'agit des liaisons hydrogène. Considérons par exemple l'alcool éthylique de formule $\text{C}_2\text{H}_5\text{-O-H}$. En présence d'eau, une liaison hydrogène s'établit entre l'hydrogène du groupement OH et l'oxygène de H_2O qui porte une charge délocalisée $2\delta^-$. Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs du coefficient de solubilité de quelques gaz dans l'eau.

Gaz	Masse molaire	Solubilité (moles / m ³)	
		0° C	20° C
He	4	0,36	0,31
Ar	39,9	1,7	1,0
N ₂	28	0,80	0,54
O ₂	32	1,9	1,1
CO ₂	44	65	32

Coefficient de solubilité de quelques gaz dans l'eau de mer

On constate que la solubilité du dioxyde de carbone diminue fortement lorsque la température augmente. Compte tenu de l'importance des échanges entre les océans (hydrosphère) et l'atmosphère, cette variation de solubilité aura des conséquences importantes en ce qui concerne l'évolution du climat terrestre.

L'existence de liaisons hydrogène dans le liquide et la glace a d'autres conséquences au niveau de leurs propriétés physiques car ces liaisons sont assez difficiles à briser, par chauffage notamment. Elles confèrent donc une grande stabilité physique à ces deux phases de l'eau. La molécule d'eau a la forme d'un tétraèdre dont deux sommets sont occupés par un hydrogène et les deux autres par un doublet d'électrons. Chacun de ces sommets est susceptible de participer à une liaison hydrogène. Dans le cas de la glace, le solide est ordonné de façon très régulière en un réseau caractérisé par une liaison O-H de dimension 177 pm. Dans l'eau, la longueur de cette liaison est presque deux fois plus petite et vaut

99 pm. Lorsque la glace se transforme en eau liquide, la structure régulière se brise et le matériau devient moins lâche. Il existe à la fois des groupements de molécules et des molécules seules.

Les phases de l'eau et leurs transformations respectives.

La remarque précédente met en évidence un comportement très particulier de l'eau : la phase solide est moins dense que la phase liquide. La glace flotte sur l'eau. Parmi les milliers de substances dont les paramètres physiques ont été mesurés, seules trois substances présentent cette caractéristique : l'eau, le bismuth et l'antimoine. Le diagramme des phases de l'eau (figure ci-dessous) montre que le point triple correspond à une température de $0,01^\circ\text{C}$ et une pression de 6,1 hectopascals (1 bar = 10^5 pascals). En dessous du point triple, l'eau ne peut pas exister sous forme liquide. La courbe de changement de phase liquide-vapeur s'arrête en un point appelé point critique pour lequel $p_c = 221,2$ bars et $T_c = 374,1^\circ\text{C}$. Au delà de ce point, l'eau devient un fluide supercritique qui possède la propriété de dissoudre des substances insolubles dans l'eau en dessous du point critique.

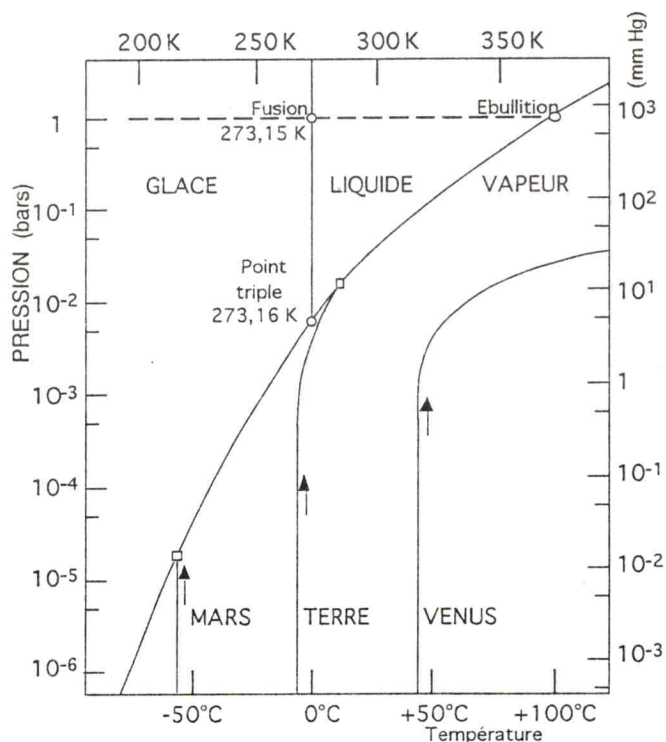


Diagramme pression-température des phases de l'eau et évolution des températures des atmosphères des planètes telluriques.

Cette figure présente également les courbes d'évolution des températures des atmosphères de Mars, la Terre et Vénus (d'après S. I. Rasool et C. De Bergh, 1970). Lorsque ces planètes ne sont pas encore entourées d'une atmosphère, leurs

températures respectives sont égales à environ -57°C , -7°C et 43°C selon leur degré d'éloignement du Soleil. Peu à peu, sous l'effet du dégazage, une atmosphère se constitue, ce qui entraîne une augmentation de la pression atmosphérique. Dans le cas de Mars, lorsque la pression atteint la courbe de changement de phase, on constate que la transition de phase s'effectue en produisant de la glace. La température n'est pas suffisante pour produire de l'eau liquide. Dans le cas de la Terre, les conditions de température et de pression permettent à l'eau de se condenser sous forme liquide. Par contre, dans le cas de Vénus, l'augmentation de pression s'accompagne d'une élévation de température à cause de l'effet de serre. L'eau ne peut plus se condenser.

Un changement de phase s'effectue avec un transfert de chaleur. Le tableau ci-dessous donne les valeurs des chaleurs spécifiques et des chaleurs latentes de l'eau sous forme liquide ou solide.

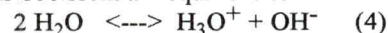
Chaleur spécifique de la glace	2,09 J / g.K
Chaleur latente de fusion	6,01 kJ / Mole
Chaleur spécifique de l'eau	4,18 J / g.K
Chaleur latente de vaporisation	40,7 kJ / Mole

L'eau et les notions d'acide et de base.

Les notions d'acide et de base sont très importantes dans notre environnement à cause, précisément, de l'abondance de l'eau sur Terre. Il est bien connu que de nombreux sols ne permettent pas certains types de végétations : les rhododendrons demandent impérativement un sol acide. Un sol calcaire ne pourra pas être acide.

La définition d'un acide est la suivante : un acide est une substance qui peut céder un proton H^+ à un autre élément. Le pH est défini par le cologarithme de la concentration en ions H^+ . Le degré d'acidité est mesuré par le pH : $\text{pH} < 7$, le milieu est acide ; $\text{pH} = 7$, le milieu est neutre ; $\text{pH} > 7$, le milieu est basique. A cause de la présence de CO_2 dans l'atmosphère, et compte tenu du fait que ce gaz est un peu soluble dans l'eau, l'eau naturelle comportant uniquement du CO_2 comme substance dissoute est légèrement acide à cause de la présence de l'ion HCO_3^- produit par la réaction (3) dissolution de $\text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ (3) D'une manière générale, l'ion H^+ , qui est un proton dont le volume est pratiquement négligeable, n'existe pas sous cette forme dans un milieu aqueux. Grâce aux liaisons hydrogène, cet ion s'hydrate sous la forme de H_3O^+ ou H_5O_2^+ ou encore H_7O_3^+ .

Même lorsqu'aucune substance n'est ajoutée à l'eau, un certain nombre d'ions H^+ et OH^- existent dans le liquide. Les concentrations obéissent à l'équilibre suivant :



Dans l'eau idéalement pure, le produit des concentrations $[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}$. Par conséquent $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$. On constate que le cologarithme de $[\text{H}_3\text{O}^+]$ est égal à 7, qui est le pH d'un milieu neutre. Ceci explique la définition du pH d'une solution.

L'eau sur la Terre. Le cycle de l'eau

Les caractéristiques de l'eau sur Terre.

L'eau est un élément remarquable à tous points de vue.

- Elle est fluide et coule facilement, ce qui lui permet d'être présente sur les surfaces continentales.

- L'eau est un excellent solvant pour un grand nombre de composés.

- L'eau est transparente dans le domaine visible, ce qui permet au rayonnement de pénétrer jusqu'à des profondeurs assez importantes. Cette propriété est essentielle pour le développement du phytoplancton.

- Sa capacité calorifique est importante, notamment si on la compare à celle des substances d'usage courant (métaux par exemple). Cette capacité calorifique agit comme un régulateur de température dans les régions maritimes.

- Les chaleurs latentes de vaporisation et de fusion de l'eau sont importantes. Il est donc nécessaire de fournir des quantités d'énergie importantes pour vaporiser de l'eau liquide ou faire fondre de la glace. L'eau se déplace facilement et peut absorber ou relâcher de grandes quantités d'énergie en changeant de phase. Elle permet donc de disposer d'un moyen efficace de transport de l'énergie.

- La masse volumique de l'eau est maximum à la température de 4°C.

Inventaire de l'eau sur Terre.

La surface de la Terre est constituée par des continents et des océans dans des proportions de 29% et 71%. La hauteur moyenne des continents est de 800 mètres, mais la profondeur moyenne des océans est de 4000 mètres. Les deux principaux réservoirs d'eau sont les océans et les calottes polaires.

La répartition globale de l'eau est la suivante :

océans : 97,2 % ; calottes polaires et glaciers : 2,15 % ; continents : 0,6 %

On constate que les lacs, les fleuves, les rivières et la vapeur d'eau de l'atmosphère ne constituent qu'une fraction faible du contenu terrestre en eau. La glace des calottes polaires occupe un volume important. Si toute cette glace fondait, le niveau de la mer s'élèverait de 60 mètres.

	Proportion	Vol en km ³
Glace polaire et glaciers	75 %	29,0 × 10 ⁶
Eau dans le sol à z ≤ 750 m	11 %	4,2 × 10 ⁶
Eau dans le sol à z ≥ 750 m	13,6 %	5,3 × 10 ⁶
Lacs	0,3 %	120 × 10 ³
Rivières	0,03%	12 × 10 ³
Humidité du sol	0,06%	24 × 10 ³
Atmosphère	0,035%	13 × 10 ³
Total eau non océanique	100 %	39 × 10⁶
Eau dans les océans		1350 × 10⁶

Le cycle de l'eau.

Le processus le plus important dans le cycle de l'eau est l'évaporation qui se produit au niveau de la surface des océans.

Processus	kg par an (x 10 ¹⁷)
Evaporation à la surface des océans	3,83
Précipitations sur l'océan	3,47
Evaporation sur des continents	0,63
Précipitations sur les continents	0,99
Ecoulement de la terre vers la mer	0,36

**Valeurs des flux
intervenant dans le cycle de l'eau.**

L'eau de mer est salée

La salinité de l'eau de mer, c'est-à-dire la masse de sels par kg d'eau salée est en moyenne de 3,5 %. Cette proportion varie entre 3,2 et 3,8%.

Composé	Ion	Grammes par kg
Chlorure	Cl ⁻	19,35
Sodium	Na ⁺	10,76
Sulfate	SO ₄ ²⁻	2,71
Magnésium	Mg ²⁺	1,29
Calcium	Ca ²⁺	0,41
Potassium	K ⁺	0,39
Bicarbonate	HCO ⁻	0,14
Bromure	Br ⁻	0,01
Strontium	Sr ⁺	0,01
Bore	B ²⁺	0,004
Fluor	F ⁻	0,001

Composition de l'eau de mer

Constante de temps de résidence de l'eau océanique.

Le débit en volume de l'écoulement d'eau de la terre vers la mer est de 36 × 10³ km³ par année. On peut donc définir une constante de temps de résidence de l'eau océanique en effectuant la division suivante :

$$\tau = \text{volume de l'océan} / \text{débit de l'écoulement terre-mer (5)}$$
$$\tau = (1350 \times 10^6 \text{ km}^3) / (36 \times 10^3 \text{ km}^3 \text{ par année})$$
$$\tau = 37\,500 \text{ ans (6)}$$

On peut également évaluer le temps de résidence d'une molécule d'eau dans une calotte glaciaire. On obtient une valeur comparable au temps de résidence dans le réservoir océanique. Le processus de perte est lié principalement à la

fusion des glaciers et à la formation d'icebergs à l'endroit où la banquise rencontre la mer. Dans le passé, des périodes de glaciation ont existé à plusieurs reprises au cours desquelles l'étendue de la calotte glaciaire a été beaucoup plus grande qu'à présent. Le maximum de la période glaciaire la plus récente s'est produit il y a 18 000 ans. La couverture de glace recouvrait les îles britanniques, la péninsule scandinave, une bonne partie de la Sibérie, tout le Canada et une partie des Etats-Unis actuels. Le volume total de glace n'était pas de $29 \times 10^6 \text{ km}^3$ comme actuellement, mais de $73 \times 10^6 \text{ km}^3$, soit plus du double. Le niveau des océans était situé environ 100 mètres plus bas que le niveau actuel. Ce fait a été confirmé par la découverte de grottes sous-marines qui ont été occupées par des hommes au paléolithique.

De la glace dans le régolite lunaire

La présence de glace sur la Lune a été suggérée dès 1961 par trois planétologues de Caltech (Watson, Murray et Brown) car il existe sur ce satellite des régions qui ne sont jamais éclairées par le soleil. L'inclinaison des rayons solaires varie peu car le Soleil fait toujours avec le plan équatorial lunaire un angle inférieur à $1,6^\circ$. En d'autres termes, il n'y a pas de saisons sur la Lune. Dans ces conditions, la vitesse de sublimation de la glace peut être extrêmement faible, surtout si la glace se trouve mélangée au régolite lunaire. Il est donc possible qu'il en existe encore une certaine quantité, si de la glace a existé un jour sur notre satellite.

L'annonce de la découverte probable de glace près du pôle Sud par la sonde Clémentine lancée en 1994 a donc suscité un extrême intérêt dans la communauté. Le paramètre caractéristique est le taux de polarisation du rayonnement électromagnétique émis par l'émetteur de la sonde tourné vers la surface de la lune, réfléchi par la surface et reçu par un radiotélescope terrestre. La comparaison avec les échos obtenus en d'autres endroits de la Lune ne présente pas la même augmentation du taux de polarisation.

Une tentative de confirmation de cette détection a eu lieu en 1998 avec le spectromètre à neutrons de la sonde Lunar Prospector. Cet instrument détecte les neutrons éjectés de la surface lunaire sous l'effet de l'impact de rayons cosmiques. L'instrument ne permet pas de détecter de la glace d'une manière directe, mais il a permis de confirmer les résultats obtenus par Clémentine, à savoir la présence probable de glace dans le sol de certains cratères situés dans les régions polaires.

Il a été possible de donner une estimation de la quantité de glace pouvant se trouver dans ces régions : de 10×10^6 à 300×10^6 tonnes. Les surfaces couvertes seraient comprises entre 1000 et 50 000 km^2 au pôle Nord et 5000 et 20000 km^2 au pôle Sud. Si la présence de glace était confirmée, elle permettrait d'envisager la construction d'une base scientifique

sur la Lune. Certains experts ont déjà estimé que, grâce à cette quantité de glace, 2000 personnes pourraient séjourner sur notre satellite naturel pendant un siècle. On peut aussi imaginer que la glace permettrait de fabriquer par électrolyse de l'hydrogène et de l'oxygène pour servir de carburant et envoyer des sondes dans le système solaire.

Le problème de l'eau sur Mars

Les calottes polaires.

Les calottes polaires de Mars ont une étendue qui varie en fonction des saisons martiennes. Rappelons que les saisons sur Mars sont plus accentuées que sur la Terre car elles résultent à la fois de l'inclinaison du plan équatorial de la planète par rapport à l'écliptique (24° pour Mars et $23,5^\circ$ pour la Terre) et de l'excentricité de son orbite (0,093 pour Mars et 0,017 pour la Terre). La calotte polaire boréale a un diamètre d'environ 650 km et une épaisseur d'environ 1 km. Elle est constituée d'un mélange de glace d'eau et de glace carbonique. La calotte polaire australe est moins étendue, son diamètre étant de 450 km, mais plus épaisse (3 km). Elle serait formée uniquement de glace carbonique. Les volumes de glace des calottes polaires sont évalués respectivement à $1,2 \times 10^6 \text{ km}^3$ et $0,2 \times 10^6 \text{ km}^3$. L'étude détaillée des photographies transmises par la sonde Mars Global Surveyor montre que la glace martienne subit les mêmes mouvements de glissement que la glace sur Terre.

Le problème de l'eau.

Grâce à quatre sondes qui ont été placées en orbite autour de Mars : Mariner 9 en 1971-72, Viking 1 et 2 en 1976-77 et Mars Global Surveyor en 1997-99, nous disposons maintenant d'une couverture photographique complète de cette planète. La résolution de ces photographies atteint 1,5 m. Les structures martiennes les plus impressionnantes sont constituées par les volcans de la région de Tharsis : les trois volcans alignés Arsia, Pavonis et Ascraeus Mons et, au Nord-Ouest, Olympus Mons qui est le volcan le plus grand du système solaire (27 km d'altitude et 600 km de diamètre).

Une autre structure exceptionnelle de Mars est constituée par l'immense canyon appelé Valles Marineris et ses ramifications. Cette dépression s'étend d'ouest en est dans la partie équatoriale de la planète sur plus de 5000 km avec une largeur de 200 km et une profondeur de 6 km. De nombreux clichés montrent des réseaux de chenaux parfois enchevêtrés. Certains chenaux prennent naissance dans des dépressions. Parfois, ces dépressions ont une forme circulaire et seraient dues à un processus de dégazage au niveau de la croûte.

Les images de Mars Global Surveyor, dont la résolution est supérieure à celles de Mariner 9 et Viking apportent des

L'éventualité de la présence d'eau liquide sur Europe a immédiatement amené les scientifiques pluridisciplinaires qui s'intéressent aux planètes à s'interroger sur l'éventualité d'une forme de vie sous-marine dans cet océan. Deux obstacles semblent s'opposer à cette hypothèse :

- i) la faiblesse de la température
- ii) l'absence de rayonnement solaire, à cause de l'éloignement de l'objet et de la présence d'une couche de glace.

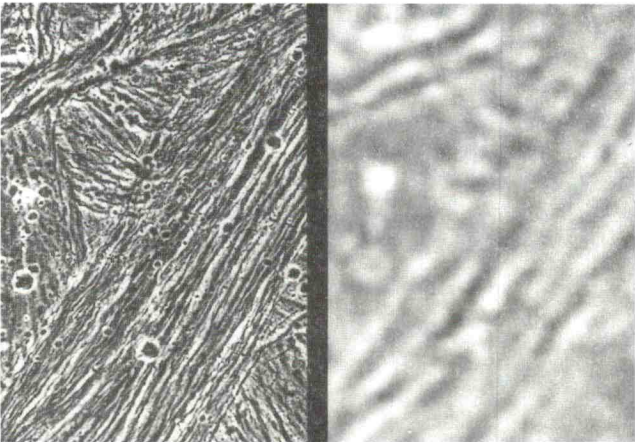
Or, un fait nouveau est apparu lorsque, à partir de 1978, des petits sous-marins ont permis d'explorer la dorsale médio-atlantique. Les images recueillies ont montré la présence, près des geysers sous-marins, de différentes espèces animales : poissons, crabes albins et bactéries vivant à l'intérieur même de ces sources chaudes. Ces espèces constituent une biomasse fonctionnant d'une manière différente de celle que nous connaissons dans le monde terrestre environnant. Depuis, des biologistes s'intéressent à certaines formes de vie qui existent dans des étangs en milieu dépourvu d'oxygène. Ces découvertes, qui ont modifié les vues traditionnelles sur les conditions indispensables au développement de la vie, ont renforcé sérieusement l'hypothèse concernant l'existence d'une certaine forme de vie dans l'océan d'Europe. Dans un tel contexte scientifique, la mission Galileo a été prolongée afin de poursuivre l'observation en détail d'Europe. De nombreuses idées de missions ont été proposées pour percer cette banquise et rechercher la présence d'organismes dans l'eau qui existe peut-être sous cette glace.



Photographie de la surface d'Europe prise par la sonde Galileo
(cliché JPL-Nasa)

Ganymède et Callisto.

Les satellites Ganymède et Callisto présentent également une surface recouverte de glace. Le dégagement d'énergie à l'intérieur de ces satellites par les forces gravitationnelles est beaucoup plus faible que dans le cas d'Europe et de Io. Callisto, qui se situe à la plus grande distance de Jupiter, est constellé de cratères d'impact. De nombreux cratères présentent les structures radiales caractéristiques, comme ceux de Tycho et Kepler sur la Lune. Ganymède présente une surface intermédiaire entre celles d'Europe et de Callisto. De nombreux sillons sont visibles, mais il y a également un certain nombre de cratères d'impact).



Photographies de la surface de Ganymède prises par la sonde Voyager (à gauche) et par la sonde Galileo (à droite). On note l'amélioration considérable de la résolution des images entre les deux missions.
(cliché JPL-Nasa)

Io.

Io est le satellite le plus proche de Jupiter. Les premières photographies à haute résolution obtenues par la sonde Voyager 1 en 1979 ont révélé un objet très coloré, allant du jaune au rouge avec des zones noires. Une preuve évidente de volcanisme a été fournie par un cliché où l'on voit le panache d'un volcan situé au limbe par rapport à la sonde spatiale se détacher sur le fond noir du ciel. Les photographies prises par Voyager montrent la présence d'une cinquantaine de caldères volcaniques dont certaines sont entourées d'un anneau noir ou rouge (Pele Patera). Les images fournies par la sonde Galileo ont une résolution qui est encore meilleure et, surtout, le suivi de Io sur plusieurs mois a permis de photographier une éruption volcanique (Pillan Patera) entre avril et septembre 1997. Dans le cas des planètes telluriques, la source d'énergie à l'origine de l'activité volcanique est due à la radioactivité de certains éléments du noyau (uranium, plutonium). Dans le cas du satellite Io, la

Plus la résolution des images s'affine, plus l'existence dans le passé d'eau s'écoulant à la surface de la planète semble s'imposer.

Europe et les satellites de Jupiter

Lorsqu'il pointa sa lunette astronomique vers Jupiter, en 1610, Galilée nota immédiatement la présence, de part et d'autre de la planète, de quatre points brillants. À l'aide de croquis, il nota les positions respectives de ces points brillants et observa leur évolution au fil des nuits. Ceci lui permit d'établir une comparaison entre le mouvement de ces objets autour de Jupiter et le mouvement des planètes autour du Soleil. Il avait compris que le mécanisme était identique dans les deux cas. Depuis, on associe généralement le qualificatif de "galiléens" aux quatre satellites les plus proches de Jupiter : Io, Europe, Ganymède et Callisto. Parmi ces satellites, il est maintenant presque certain qu'Europe contient une importante quantité d'eau liquide surmontée d'une couche de glace constituant une banquise. Ganymède et Callisto possèdent également de la glace, mais sont peut-être dépourvus d'eau liquide. Ils sont également moins soumis aux contraintes gravitationnelles qu'Europe et que le plus proche satellite de Jupiter, Io, qui est le siège d'une intense activité volcanique.

Europe.

Europe est un satellite d'une taille assez importante, de diamètre 3 138 km. Elle est un peu moins grande que la Lune et, par sa taille, se situe au même rang parmi les satellites de notre système planétaire. L'hypothèse de la présence d'un océan sur les satellites galiléens avait été émise par Fanale en 1977. Deux années plus tard, les photographies des sondes Voyager montrèrent que la surface d'Europe ressemblait à celle de la glace, qu'elle était relativement plate et qu'elle était parcourue de grands sillons. Le fait le plus surprenant était qu'elle ne présentait pratiquement aucun cratère. Les photographies de Galilée montrent de longs traits qui peuvent être des fractures, des failles ou des crevasse, des blocs qui semblent s'être encastrés les uns dans les autres. On observe également quelques disques circulaires qui ne présentent pas de bords relevés comme les cratères d'impact. Il s'agit de trous dans la glace correspondant à d'éventuelles éruptions sous-marines. Deux faits ont amené les planétologues à émettre l'hypothèse de l'existence d'un océan sous la banquise superficielle. D'une part, l'aspect de la surface montre qu'elle est soumise à des mouvements analogues à ceux d'une banquise. Ces mouvements sont liés au fait que la glace peut glisser facilement sur l'eau sous-jacente. D'autre part, étant donné qu'Europe se trouve près de Jupiter, elle subit des forces de gravitation différentielle (forces de marée) qui produisent de l'énergie et permettent à l'eau d'exister sous forme liquide.

éléments supplémentaires en faveur de la présence d'eau dans le passé géologique de la planète rouge. Ces éléments sont de trois types :

- Les images montrent des traces de suintement sur les parois de certaines falaises et peut-être l'existence de mares asséchées.
- Elles mettent en évidence la présence d'écoulements fluides ayant duré pendant un certain temps.
- Elles montrent la stratification de la croûte supérieure de Mars, à un degré plus important que celui qui est généralement admis.

Les clichés de Noachis Terra montrent un cratère de 60 km de diamètre environ au fond duquel une mare a probablement existé. De plus, sur les flancs des falaises, apparaissent des traces de suintement. Un autre exemple est fourni par le canyon de Nandedi Vallis, dans la région de Xanthe Terra. Ici, le fond du canyon est plat, mais il contient un chenal beaucoup moins large qui serpente dans sa partie centrale, exactement comme on peut l'observer sur Terre.

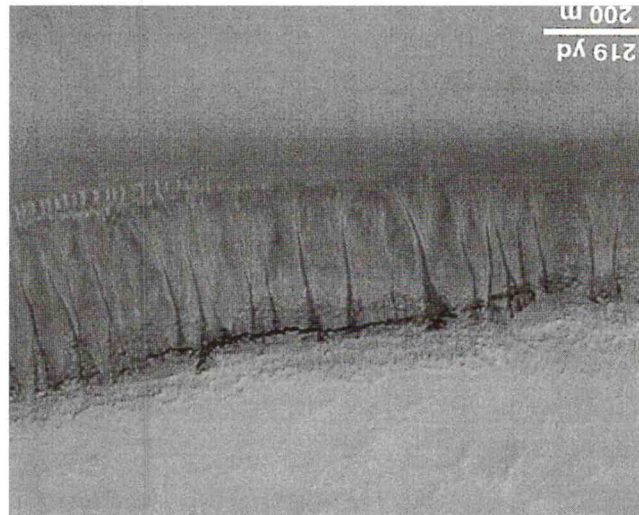


Image montrant le bord du cratère de Noachis Terra, les terrains stratifiés du plateau supérieur, une corniche au niveau du rebord et un réseau de rigoles pouvant avoir été creusées par des écoulements d'eau sur le flanc de la paroi.
(cliché Mars Orbiter Camera, Mars Global Surveyor, Nasa)

Les images de Viking avaient déjà montré une stratification des couches qui apparaissent sur les parois de Vallis Marineris. Les clichés à haute résolution montrent des vallées ressemblant aux vallées de montagne. La région de Coloe Fossae comportant des vallées à fond plat remplies de débris d'érosion pourrait être une ancienne vallée glaciaire. Certains planétologues pensent détecter l'existence d'un littoral, ce qui impliquerait la présence dans le passé d'un océan.

source d'énergie est due aux forces de gravitation différentielle créées par le champ énorme de Jupiter. A cause de l'intense activité volcanique, les matériaux de la surface subissent un recyclage permanent, ce qui explique l'absence totale de cratères d'impact. Ces matériaux sont principalement du dioxyde de soufre et du soufre. Cet élément possède la propriété, suivant les conditions de refroidissement après sa fusion, de se présenter sous différentes formes qui ont les couleurs variées que l'on voit à la surface de Io.

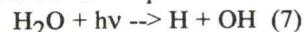
Les comètes

Les comètes sont constituées par un noyau solide dont les dimensions sont de l'ordre de quelques km à quelques dizaines de km et dont la forme est passablement éloignée de celle d'une sphère. Nous ne disposons, pour l'instant, que d'une seule série de photographies d'un noyau, celui de la comète de Halley. Ce noyau a une forme allongée et peut être inscrit dans un ellipsoïde de révolution de grand axe 16 km et de petit axe 8 km. La surface présente plusieurs cratères d'impact et des zones actives d'où s'échappent de la poussière et des gaz. Pendant la majeure partie de leur période de révolution autour du Soleil, les comètes sont inactives et leur noyau a le même mouvement que celui des astéroïdes. Une différence importante pourtant tient au fait que la trajectoire des comètes peut être nettement plus excentrée que celle des astéroïdes, confinés dans une zone située entre les orbites de Mars et de Jupiter. C'est ainsi que de nombreuses comètes ont une période tellement longue qu'elles semblent apparaître dans le ciel pour la première fois. On parle de nouvelle comète et son (ou ses) découvreur peut alors lui donner son propre nom.

Plus la comète se rapproche du soleil, plus sa vitesse linéaire, qui varie sensiblement en $1/r$ où r est la distance au Soleil, devient importante. Lorsqu'elle se trouve à moins de 3 unités astronomiques (c'est à dire 3 fois 150×10^6 km), la comète devient active. Un environnement de poussière et de gaz provenant du noyau enveloppe cet objet. Sous l'effet du rayonnement solaire, la poussière est repoussée dans la direction opposée au Soleil, créant une queue de poussière incurvée et blanche et certaines molécules s'ionisent en créant une queue ionique, rectiligne et torsadée, de teinte bleutée.

L'existence d'eau sous forme de glace dans le noyau des comètes a été suggérée en 1950 par F. Whipple, qui a proposé le concept de "boule de neige sale" pour désigner en fait un mélange de glace et de poussière. Par spectroscopie, on ne peut pas avoir directement accès à la composition du noyau, trop petit pour pouvoir être étudié depuis la Terre, mais on peut connaître un certain nombre de composés de l'environnement proche du noyau appelé coma. Ces composés sont les suivants : OH, NH, CN, C₃, CH, C₂, NH₂ et des métaux comme le sodium. La présence du radical hydroxyle dans la coma constitue une preuve indirecte de la présence

d'eau dans les comètes car ce radical peut être produit par photolyse de l'eau suivant le processus :



Cette preuve indirecte a été renforcée en 1970 par la détection d'un immense nuage d'hydrogène atomique dans les comètes Tago-Sato-Kosaka et Bennett. Enfin, l'eau a été détectée directement par ses raies d'émission infrarouges dans la comète de Halley.

La dernière décennie a été particulièrement bénéfique pour l'étude des comètes car trois événements importants se sont produits :

- l'impact du noyau de la comète Shoemaker-Levy 9 avec Jupiter en 1994.

- le passage de la comète Hyakutake au printemps 1996.

- le passage de la comète Hale-Bopp en 1996-97.

L'étude de ces comètes a confirmé le fait que leur noyau est constitué pour 90% de glace d'eau. Il comprend une quantité variable de monoxyde de carbone pouvant atteindre 20%, ainsi que du CO₂, du méthanol, du formaldéhyde et d'autres composés en moindres proportions comme des hydrocarbures polycycliques aromatiques.

La glace peut exister sous plusieurs formes, suivant la température. Lorsque celle-ci est inférieure à -163°C, elle n'est plus cristallisée et a une structure amorphe. Entre -163 et -123°C, la glace a une structure cristalline cubique. Au dessus, entre -123 et 0°C, la glace existe sous la forme que l'on connaît sur Terre : cristalline avec une structure hexagonale, l'atome d'oxygène se trouvant au centre d'un tétraèdre. Au sein des noyaux de comète, la glace existe sous l'une des deux formes : amorphe ou cristalline cubique. Les changements de phase qui accompagnent l'augmentation de température lorsque la comète se rapproche du Soleil peuvent se traduire par un dégagement d'énergie et l'apparition d'une activité cométaire.

L'intérêt que présente l'étude des comètes résulte des caractéristiques de leurs orbites. En effet, elles obéissent à la loi des aires et se déplacent d'autant plus lentement qu'elles se trouvent loin du soleil. Par conséquent, la période où elles passent près du soleil est comparativement très brève et le reste du temps, elles sont inactives. De plus, leur gravité est faible et elles ne sont pas, sauf cas particulier comme S-L 9, soumises à l'attraction de grosses planètes comme Jupiter. Il en résulte que les noyaux de comètes ont subi peu de modifications depuis la formation du système solaire. Il s'agit donc d'objets de choix pour obtenir des indications sur la composition de la nébuleuse proto-solaire et les conditions de formation du système solaire.

Comètes et mini-comètes comme apport d'eau pour la Terre ?

On considère maintenant que les comètes ont apporté une certaine partie, évaluée à environ 10%, de l'eau qui est présente sur Terre. Cet apport d'eau a certainement été plus important par le passé qu'il ne l'est actuellement. Un scientifique américain, L. Franck, mène actuellement un programme de détection de mini-comètes. Ces objets, en rencontrant l'atmosphère terrestre, fourniraient un apport permanent

d'eau à la planète bleue. Cet apport serait compensé par l'échappement des atomes d'hydrogène et d'oxygène provenant de la photolyse de la vapeur d'eau.

Le milieu interstellaire

Environ 90% de la matière de la Galaxie (la Voie Lactée) se trouve dans les étoiles. Le reste, environ 10%, se situe dans l'espace interstellaire, la distance moyenne entre les étoiles étant de 2 à 3 parsecs (environ 8×10^{13} km). La densité moyenne de l'espace interstellaire est inférieure à 0,1 particule par cm^3 . La matière interstellaire se concentre dans des nuages qui sont classés comme "diffus" (environ 1 particule/ cm^3) ou comme "denses" (environ 1000 particules/ cm^3). On distingue généralement quatre types de nébulosités :

- les régions HII constituées d'ions comme HII (H^+), OII (O^+), OIII (O^{2+}), NII (N^+). L'ionisation de ces éléments est due à l'action du rayonnement riche en ultraviolet d'étoiles jeunes du type O.
- les nébuleuses par réflexion, qui comportent une quantité importante de particules de poussière qui diffusent le rayonnement (il serait en fait plus approprié de parler de nébuleuses par diffusion).
- les nébuleuse planétaires
- les restes de supernovae.

La composition du milieu interstellaire

L'étude de ces milieux astrophysiques s'effectue dans le visible (série de Balmer de l'hydrogène, $\text{H}\alpha$ à 656,3 nm, $\text{H}\beta$ à 486,1 nm), dans l'infrarouge (satellites IRAS et ISO) et dans le domaine radio.

L'eau dans le milieu interstellaire

La détection de l'eau, comme celle de l'oxygène nécessite généralement de s'affranchir de l'atmosphère terrestre. Dans le cas de l'eau, il est au moins indispensable de se trouver au dessus de la troposphère qui contient la plus grande partie de l'eau terrestre. Un seul cas permet de tenter de détecter de l'eau à partir de sites au sol : il s'agit des objets pour lesquels le décalage Doppler est suffisant. Ceci se produit lorsque le mouvement propre de l'objet est important (comètes) ou lorsque le décalage vers le rouge déplace suffisamment le spectre de la source par rapport aux raies telluriques (source lointaine).

Il est très difficile d'effectuer une détection de l'eau par absorption dans le spectre d'une étoile ou d'un objet situé au-delà du nuage moléculaire étudié. Il convient donc d'essayer de détecter les raies en émission. Il s'agit de raies de rotation, ou vibration-rotation qui se situent dans l'infrarouge. Deux satellites, IRAS, puis ISO, ont été construits pour effectuer

des mesures spécifiquement dans l'infrarouge. Pour éliminer le rayonnement infrarouge émis par les instruments eux-mêmes, les télescopes à bord étaient maintenus à une température proche de 0 K grâce à une enveloppe contenant de l'hélium liquide.

Le satellite ISO a détecté de la vapeur d'eau dans la nébuleuse d'Orion, ainsi que dans la plupart des régions de la Galaxie où la température est suffisamment faible pour que l'eau existe sous forme gazeuse ou solide. La présence d'eau avait été révélée par la radioastronomie, mais il s'agissait de mesures limitées à certains nuages moléculaires. Maintenant, il apparaît que l'eau est omniprésente dans la Galaxie, partout où se trouve du gaz à basse température.

L'eau dans les sources extragalactiques

L'eau a été détectée pour la première fois récemment dans des sources lointaines en radioastronomie (Combes et Wiklind, 1998). La raie fondamentale de l'eau à 557 GHz, décalée vers le rouge à 331 GHz, a été détectée devant le quasar B0218+357. L'oxygène moléculaire a également été détecté alors que, jusqu'à ce jour, il n'avait pas pu être mis en évidence dans le milieu interstellaire.

Conclusion

L'eau, qui nous est si familière, est un corps extrêmement précieux. Il est remarquable de constater peu à peu, au fur et à mesure que les moyens d'observation et de détection se perfectionnent, que l'eau existe pratiquement partout où l'on veut bien la chercher dans l'Univers. Un des grands thèmes qui motivera les scientifiques dans les années à venir est la recherche de formes de vie dans des milieux autres que la Terre. Le fait d'avoir détecté de l'eau dans des objets comme le satellite Europe constitue l'encouragement le plus efficace pour continuer dans cette voie.

Références :

- Audouze J. et Israël G. 1983. Le grand atlas de l'astronomie, Encyclopædia Universalis, pp. 452.
- Combes F. et Wiklind T., 1998. Molécules et formation d'étoiles au début de l'Univers, L'Astronomie, 112, pp. 206-211.
- Rasool S.I. et De Bergh C., 1970. The runaway greenhouse and the accumulation of CO_2 in the Venus atmosphere, Nature, 226, pp. 1037-1039.
- Watson K., Murray B. and Brown H., 1961. On the possible presence of ice on the Moon. J. Geophys. Res., 66, (5), pp. 1598-1600.
- Whipple F. L., 1950. A comet model I: the acceleration of comet Encke, Astrophys. J., 111, pp. 375-394.



Rencontres

entre un professeur de math. sup. et des élèves du primaire

Pierre Le Fur

Pierre Le Fur, professeur de physique en MPSI, nous relate ici une expérience d'intervention en astronomie au niveau primaire.

Il nous fait partager son étonnement et son plaisir face aux réactions des jeunes élèves et nous livre ses réflexions sur l'enrichissement que lui apporté cette activité bien différente de sa pratique quotidienne.

Au début des années 80, j'appartenais au club d'Astronomie de l'Université du Maine¹, dans la Sarthe, et sous l'impulsion de son président de l'époque, mon professeur de physique au Lycée Montesquieu du Mans, Jean Paul Rosenstiehl², nous réalisions, entre autres, des interventions sous forme d'activités astronomiques auprès des scolaires et de leurs enseignants, bien avant l'opération "mains à la pâte". En effet mon ami Jean Paul a toujours été un membre enthousiaste, passionné et très actif du CLEA, et je tiens à lui rendre hommage.

Vingt ans plus tard, devenu père de deux enfants et professeur en classe de math. sup. MPSI à Toulon je suis amené à m'intéresser de nouveau à l'enseignement des sciences (astronomie et physique) en Maternelle et en Primaire. Ma fille et mon fils étant scolarisés à l'école Primaire du Claret à Toulon, j'ai contacté leurs Instituteurs(rices) afin de savoir si éventuellement une activité "science" d'une après midi dans leur classe pouvait s'intégrer à leur progression. Melle Jara, enseignante en CE1-CE2, Mme Ross en CM2 et Mr Boschet en CM2 m'invitèrent donc à rendre visite à leurs classes avec l'aimable accord de Mr Dalbiès, Directeur ; je les en remercie.

Le principe d'une rencontre étant acquis, le plus délicat restait à faire :

quelles activités précises pouvais-je proposer aux élèves ? Evidemment, l'expérience acquise auprès de Jean-Paul m'incitait à regarder vers le ciel : le soleil et sa lumière messagère seraient le fil conducteur. Mais tous les animateurs de club d'astronomie le savent, observer les astres nécessite un ciel pur et statistiquement il n'y a guère qu'une chance sur deux d'avoir du "beau temps" le jour J, même dans le midi de la France. Il me fallait donc prévoir des activités de salle de classe. Une introduction à l'optique à partir des instruments télescope ou lunette m'a semblé appropriée.

On a donc demandé aux élèves de récupérer chez eux quelques loupes et lampes de poches afin de réaliser des montages en classe en utilisant papier calque, scotch, papiers noirs ou blancs et tubes cartons.

Un après midi de ciel bouché en CE1-CE2

13 h 30 - Sous des nuages d'hiver insensibles à notre désir d'admirer le Soleil, les enfants quittèrent la cour de récréation pour pénétrer dans leur salle de classe, l'œil intrigué par ce mystérieux télescope et ces cartons de matériel posés sur l'estrade. Leur étonnement de voir un "intervenant" sorte d'intrus dans le lieu de

travail qu'ils se sont appropriés depuis le début de l'année par force de dessins et autres travaux colorés affichés sur les murs défraîchis, se dissipe plus vite que le mien : le matin même j'aidais des post-adolescents parfois un peu trop blasés à réaliser leurs montages d'électronique et brutalement, me voilà devant des petits que je sentais très enthousiastes et excités à l'idée de réaliser des expériences et de voir du "neuf". Légèrement angoissé, je désirais ne pas les décevoir et maintenir leur attention intéressée jusqu'à 16 h 30. Cela ne semblait pas une mince affaire, d'autant qu'à cet âge (7-8ans) le désintérêt s'exprime souvent par une agitation quasi brownienne à l'opposé des bâillements discrets des élèves de math. sup...

J'entamais donc rapidement la séance par une courte présentation et passais au vif du sujet en présentant le soleil et sa famille planétaire à l'aide d'une trentaine de diapositives³ en exprimant les dimensions (diamètres et distances) par les temps de voyage d'un hypothétique "avion" sidéral volant à 1000 km / h. Le dialogue s'installant rapidement grâce à leur institutrice, véritable régisseur des impatients doigts levés, je m'apercevais alors qu'on retrouvait dès cet âge, comme dans les classes post-bac, les immenses écarts culturels entre élèves. Certains étant d'étonnants spécialistes du ciel, d'autres ne faisant pas de différence entre les virtualités télévisuelles à la "star-wars" et les réalités de l'exploration spatiale actuelle. En math. sup. les étudiants les moins "cultivés" dans ce domaine ont remplacé cette confusion avec la virtualité par une ignorance franche et massive comparée aux connaissances des prodiges de CE1-CE2.

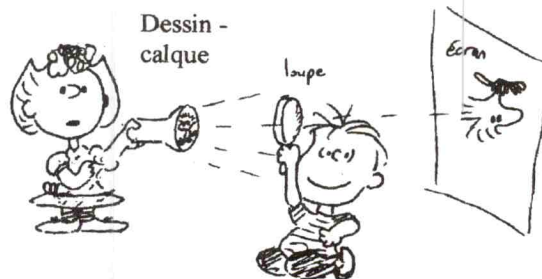
Le ciel restant plombé, j'optais pour l'initiation à l'optique. Enfin on allait pouvoir tout savoir de ce gros tube blanc posé sur son trépied et qui répond au nom de télescope alors que le tube de visée placé en parallèle répond à celui de lunette. Après quelques "enlève ta tête, je ne vois rien !", chacun a pu voir son visage se refléter sur le fond du tube; tout le monde s'est alors persuadé de la présence d'un miroir dans le télescope. Quant à la lunette de visée elle ne contient que des lentilles comparables à des loupes. Ce mot "loupe" déclencha alors une déferlante de "monsieur, monsieur, j'ai apporté la mienne !" et en joignant le geste à la parole, de dégainer plus rapidement que Lucky Luke, les lentilles soigneusement emballées dans des plastiques. Suivent hors des sacs les lampes de poche et autres tubes de carton... Voilà un enthousiasme naturel dont j'avais oublié l'intensité, étant depuis trop longtemps au contact unique de générations plus âgées et donc plus modérées... Restait à répartir le matériel disponible par binôme puisque des élèves réellement angoissés m'avaient rappelé que certains d'entre eux n'avaient pas pu apporter de loupe ou lampe. Là encore des demi-surprises m'attendaient car deux écueils inattendus allaient se présenter : certains ne voulaient pas prêter leur matériel aux autres et des élèves assis à une même table s'apostrophaient "j'veux pas faire d'expérience avec toi, t'es pas mon copain !". Mais là encore la ferme diplomatie de Melle Jara fit merveille et un calme relatif put s'établir. La récréation s'imposa à nous sous la forme d'une sonnerie qui me rappela des souvenirs d'enfance.

Après quelques minutes de conversation avec les instituteurs présents à cette première récréation, nous fîmes rentrer

les élèves afin de commencer les expériences.



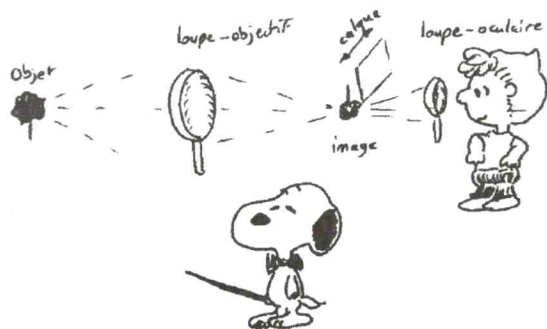
Tout d'abord nous avons commencé par la relation soleil / ombre au cours de la journée⁴ (fig. ci-dessus) puis nous avons continué par la chambre noire⁵ en formant l'image de la fenêtre sur un papier calque placé au fond d'un tube carton genre essuie-tout fermé à l'autre extrémité par du carton noir percé d'un trou. Puis nous avons remplacé le carton noir par une loupe et, en ajustant la distance et la position loupe - papier calque, l'image de la fenêtre est enfin apparue beaucoup plus lumineuse qu'avec le simple orifice de la chambre noire. Certains expérimentateurs s'impatientsaient très rapidement de ne pas obtenir un résultat correct dans un délai bref alors que d'autres binômes y parvenaient parfaitement et n'en étaient pas peu fiers ! " Notre loupe ne marche pas, elle est trop petite, trop grande ; ma copine n'y connaît rien !... Monsieur, votre truc ça marche pas !... ". Nous n'étions pas trop de deux pour aider les 25 enfants en pleine activité, en particulier pour les empêcher de coller leur œil sur le papier calque, alors qu'il fallait regarder celui-ci. Il était temps d'exhiber un appareil photographique (modèle à soufflet Eastman Kodak des années 40) pour leur faire deviner sa structure et son mode de fonctionnement.



Ensuite nous leur avons proposé de dessiner un personnage sur le papier calque qui une fois éclairé par la lampe de poche a constitué un objet lumineux dont nous avons pu former l'image sur une feuille de papier blanc formant écran. C'est une manipulation difficile (fig. ci-dessus) car elle nécessite beaucoup de coordination gestuelle pour chacun

(position de l'éclairage par rapport à l'image) comme entre les membres du binôme (parallélisme et distances loupe - écran - objet lumineux). Malgré cela, avec un peu d'aide, la plupart des groupes réussirent à obtenir des images lisibles. Alors les remarques fusèrent : "Monsieur, c'est à l'envers ! On voit même les couleurs ! Est-ce que je pourrai le faire chez moi ?... ". Il fallait projeter de nouveau une diapositive pour leur montrer une première application directe. La deuxième, le rétroprojecteur, établit un silence de stupéfaction admirative lorsque la puissante lumière jaillit de la lampe sur l'écran : ainsi rencontraient-ils pour la première fois cet outil qu'ils reverraient si souvent dans leur scolarité.

Mais nous avions presque oublié notre point de départ, l'optique du télescope ou de la lunette. Maintenant qu'ils étaient plus familiers de la formation d'images avec une loupe, on pouvait s'attaquer au principe de la lunette (fig. ci dessous). En regroupant deux binômes, l'un formait une image sur un calque que l'autre observait avec la deuxième lentille. En enlevant le calque ils constataient avec étonnement que non seulement ils voyaient toujours quelque chose mais que c'était plus lumineux et plus net.



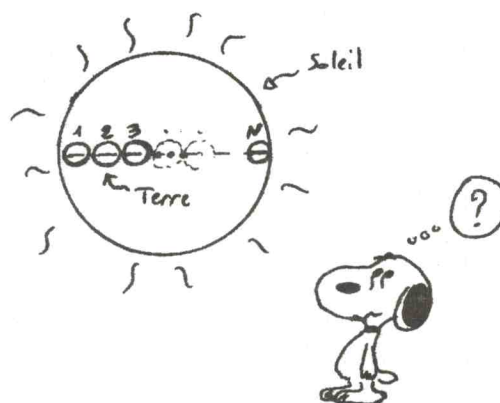
16 H 30 En cette fin de séance, les quelques individus qui avaient abandonné malgré notre aide s'étonnaient quand même du résultat des autres. Restait le clou du spectacle, observer dans le télescope : les nuages s'entêtaient, je visais la cheminée d'un immeuble lointain pour qu'ils prennent conscience du pouvoir grossissant considérablement plus fort que celui de jumelles. En sortant de la classe et à chacun son tour ils purent ainsi profiter du spectacle inversé...

Pour les CM2, j'avais demandé qu'ils apportent en plus des loupes et cartons, un thermomètre (en plastique et sans mercure). Il m'apparaissait possible de leur faire utiliser des fiches de travail⁶ et de réaliser quelques véritables mesures⁷. Le ciel n'allait de nouveau pas nous faciliter la tâche lors de la première séance en CM2.

Un nouvel après midi de ciel bouché mais en CM2

Cette nouvelle séance commença très exactement comme la précédente avec ces mêmes regards cherchant à lire sur mon visage ou à décoder mes expressions afin de cerner le pourquoi de ma présence parmi eux. J'ai repris globa-

lement la démarche suivie pour les CE1-2 en distribuant une fiche sur les dimensions relatives et absolues de la Terre et du soleil (fig. ci-dessous). Leurs connaissances en mathématiques leur ont permis de calculer sans difficultés les périmètres à partir des diamètres ou rayons trouvés dans le dictionnaire. Cela s'inscrivait en effet dans le travail récent développé par leur instituteur, Mr Boschet. Calculer les temps de vols de notre avion spatial imaginaire s'avéra tout aussi aisé. Forts de ces ordres de grandeur quantitatifs, nous voyageâmes dans le système solaire avec d'autant plus de facilité⁸.



Le ciel étant toujours peu favorable, je dus reprendre à quelques détails près les activités pratiques décrites précédemment pour les CE1-2. Les CM2 n'ont pas montré beaucoup plus de facilités que leurs plus jeunes congénères dans la réalisation ou la compréhension des expériences. Par contre, certains élèves semblaient plus réticents à essayer, à manipuler, à se tromper et à recommencer.

Des enfants habituellement en difficulté sur des travaux abstraits se sentaient à l'aise dans ces expériences...

Enfin du ciel radieux en CM2 :

En cette fin juin, l'intense bleu du ciel n'incitait pas à s'enfermer dans la salle de classe pour regarder quelques diapositives. Je commençais donc par leur demander s'il faisait chaud ou froid.

Après avoir répondu par "froid" à la question "pensez-vous qu'un nomade du désert saharien trouverait notre climat chaud ou froid ?", nous en vinrent à conclure que seule une mesure de température pourrait nous mettre d'accord avec lui, indépendamment de nos impressions respectives. On distribua alors aux groupes constitués autour des thermomètres une fiche de travail dans le but de mesurer les températures au soleil, à l'ombre des platanes ou dans la classe, sous la surveillance de Mme Ross. Pendant ce temps l'autre partie de la classe observerait le soleil par projection de son image à l'aide du télescope.

Les uns découvrirent l'image de notre étoile (assombrie à la périphérie, turbulente, ponctuée de gigantesques taches solaires aussi grande que notre Terre) qui se déplaçait sous

l'effet de la rotation de notre globe. Mais le succès démagogique de l'expérience du ballon de baudruche, éclaté par l'énergie solaire sortant de l'oculaire du télescope, les convainquit du danger de l'observation directe avec des jumelles. Après permutation des groupes chacun avait ainsi engrangé des souvenirs solaires et surtout des résultats de mesures de températures qu'il nous fallait exploiter.

La surprise fut grande de découvrir la large dispersion des résultats obtenus au soleil. Heureusement les élèves se rassurèrent en considérant le bon accord des valeurs obtenues à l'ombre... Sauf l'une d'entre eux qui avait obtenu la seule valeur réellement fort éloignée de la moyenne des autres et qui s'écria très sincère : "mon thermomètre marche bien, pas les vôtres !"...

Le reste de l'après midi se déroula suivant le schéma désormais classique de la découverte de lois de l'optique... Avec une nuance forte, puisque pour la première fois une élève refusait ouvertement de manipuler, jugeant sans doute indigne de son grand âge cette activité ludique !

Réflexions personnelles sur l'activité expérimentale dans ces classes

S'il apparaît clairement le besoin, exprimé par les instituteurs débutants ou expérimentés, d'un enseignement expérimental des sciences au Primaire, ces séances m'ont permis d'en ressentir personnellement quelques limites mais aussi l'intérêt majeur.

Tout d'abord les moyens matériels restent limités (appel aux parents sous la forme d'emprunts d'objet, tables peu adaptées, problèmes de sécurité...) et la mise en œuvre délicate (élèves peu enclins à travailler par binôme, nombre d'encadrants insuffisant par classe, formation des maîtres peu adaptée...).

Mais la main est un instrument de compréhension majeur qu'il faut réhabiliter au plus vite, pour lutter contre les effets pervers d'une virtualité envahissante vécue à la télévision ou devant l'ordinateur dès le plus jeune âge. Elle permet aussi de s'habituer à se concentrer, à persévérer en remettant cent fois sur le métier l'ouvrage et surtout à entraîner l'enfant à subir un possible échec dont le philosophe Alain Finkielkraut nous rappelle l'intérêt en citant Paul Valéry, dans son ouvrage "l'ingratitude"⁹ - que tout enseignant devrait lire - : "une difficulté est une lumière, une difficulté insurmontable est un soleil." C'est évidemment à l'opposé d'un modernisme aveugle et facile, tout imprégné d'informatique, zappante et consommante dans lequel baignent nos élèves. Mais Jean François Mattéi philosophe à Nice trace la route à suivre dans son livre "la barbarie intérieure"¹⁰ : nous, enseignants, sommes là pour "amener l'élève à s'ouvrir à autre chose que lui-même..., le sortir de ses centres d'intérêts immédiats, lui faire sentir l'intérêt immense de s'ouvrir aux sciences même s'il faut franchir les cols élevés des apprentissages... très loin des plages où l'on surfe sur les connaissances, ébloui par le soleil de la facilité". Enfin, puisque "la pédagogie tient de la philosophie" nous dit-il encore, on peut interpréter la nécessité de cette activité expérimentale au cours de laquelle l'élève met en œuvre plus ou

moins difficilement des objets réels, en termes de psychiatrie sociale. Le psychiatre Tony Anatrella écrit dans "la différence interdite"¹¹ : "A la naissance l'être humain est (psychiquement) inachevé et il a besoin des contraintes vitales de son environnement pour développer ses fonctions... L'éducation va de pair avec une certaine frustration... Et c'est le rôle de l'enseignant, d'"initier l'enfant au réel", de lui montrer que "tout n'est pas flexible selon ses envies, qu'il ne peut zapper à volonté avec les réalités". C'est donc en ce sens que réaliser des manipulations concrètes avec de très jeunes enfants participe à leur éveil comme à leur éducation et contribue à les élever¹² vers leur futur rang d'adultes responsables et équilibrés.

Pourquoi aller à la rencontre des élèves du Primaire ?

Au-delà de l'intérêt majeur pour les élèves d'un enseignement expérimental des sciences, dispensé le plus tôt possible dans la scolarité, on peut se demander quelles raisons fortes pourraient nous inciter à quitter notre travail quotidien pour "intervenir", même ponctuellement, en Primaire ?

En réalité notre métier ("vocation" aurait-on préféré naguère) reste avant tout une délicate rencontre humaine entre des jeunes (plus ou moins) et un adulte. Au cours de celle-ci nous mettons en contact "une âme jeune" avec "le trésor amassé par l'âme humaine depuis des siècles" écrit A. Finkielkraut⁹. Au-delà des difficultés, préoccupations quotidiennes et programmes éphémères, notre capacité à transmettre correctement cet héritage est liée à des techniques pédagogiques mais surtout à notre envie de réussir ce transfert, à notre enthousiasme et à notre conscience du sens intergénérationnel et intemporel de notre action. Pour "passer le témoin"¹¹, il faut connaître l'autre c'est-à-dire l'élève. Si l'indispensable diversité des pratiques et des personnalités enseignantes nourrit l'élève tout au long de sa scolarité, la réciproque est vraie ; la variété des élèves rencontrés, au travers de leurs difficultés à apprendre et de leur personnalité, élargit l'horizon humain et pédagogique du professeur. Visiter les élèves du Primaire lui permet également d'accroître sa connaissance du système éducatif et des Hommes qui le composent ; en bref il fait sortir l'enseignant de la tour d'ivoire de sa spécialité et du quotidien qui peut tuer la passion. Or Edgar Morin¹² nous dit : "l'intelligence rationnelle n'existe pas à l'état pur. Y compris dans la recherche scientifique ou mathématique, il faut de la passion. Le développement de l'intelligence est lié à celui de l'affectivité chez les mammifères. L'affectivité est indispensable à la compréhension." Et cette affectivité nous la ressentons plus vivement avec les plus jeunes, plus enclins à "s'identifier au père". Travailler avec eux nous rappelle qu'il faut en tenir compte aussi avec les plus grands qui sont en pleine recherche du sens à donner à leurs études, à leur vie : ils ressentent fortement le sens que l'on donne ou non à notre métier de professeur, au-delà du contenu scientifique qui, bien sûr, doit être avant tout irréprochable.

Conclusion :

Ces rencontres avec les enfants du Primaire m'ont apporté la fraîcheur et l'enthousiasme des "petits", capables de rêver, de se passionner ouvertement, sans retenue. Je relativise mieux les problèmes rencontrés avec les élèves du supérieur.

Et surtout je me rends compte à quel point cette "belle inutile" qu'est l'astronomie est porteuse du rêve et de la passion des savants du passé comme des scientifiques du présent, aptes à répondre à la recherche du sens si fondamental pour les élèves. De plus, son contenu scientifique traite du quasi inaccessible et rétablit sous une forme contemporaine le lien éternel entre l'Homme et le ciel.

Merci à Snoopy et C. SCHULZ.

Pierre Le Fur, professeur en MPSI à l'I.S.E.M., Place G. Pompidou 83000 Toulon ; e-courrier : plefur@isem.tvt.fr

REFERENCES :

- 1 - Club de l'Université du Maine 72000 Le Mans, Arche de la nature (plaine du verger), tél : 02 43 83 39 71 @ adresse : caum@univ-lemans.fr
- 2 - Bien connu des lecteurs des CC.
- 3 - Planètes, Vandewielle et Beaumont, collection "la grande imagerie", Fleurus enfants 1997.
- Le ciel et l'espace, Claude Delafosse, collection "J'observe", Gallimard jeunesse 1998.
- Le grand livre des questions et des réponses de Charlie Brown, au sujet de la Terre et de l'espace, Dargaud jeunesse 1980.
- 4 - Copain du ciel, Claudine et Jean Michel Masson, p 36-43 § "le soleil est ton étoile", Milan éditeur 1997.
- Méga expériences (9-13 ans), p 142-143 § "un cadran à l'heure solaire", Nathan 1995.
- 5 - Méga expériences (9-13 ans), p 80-81 § "les secrets de la chambre noire", Nathan 1995.
- Copain du ciel, Claudine et Jean Michel Masson, p 21-23 § "le soleil est ton étoile", Milan éditeur 1997.
- 6 - Modélisations en astronomie, V. Le Gouellec, et M. Morand, Cahiers Clairaut n° 88 p 6, 2000.
- 7 - Cadran solaire en CM2, S. Redondy et M. Girardot, Cahiers Clairaut n° 92 p 20, 2000.
- 8 - Le système solaire en CM2, C. Averty et D. Jullemer, Cahiers Clairaut n° 87 p 18, 1999.
- Maquette du système solaire en CM2, M. Mirabello et M. Grange, Cahiers Clairaut n° 86 p 12, 1999
- Copain du ciel, Claudine et Jean Michel Masson, p 32-35 § "le soleil est ton étoile", Milan éditeur 1997.
- 9 - L'ingratitude, Alain Finkielkraut, nrf, Gallimard 1999.
- 10 - La barbarie intérieure, Jean François Mattéi, Presses Universitaires de France 1999.
- 11 - La différence interdite, p 84-85, Tony Anatrella, Flammarion 1998.
- 12 - Entretiens au sujet de "La tête bien faite...", Edgar Morin, Le Seuil 1999.



Parrainée par l'Académie des sciences, La main à la pâte renouvelle un grand projet éducatif pour l'année 2001-2002

Sur les pas d'Ératosthène

(Mesurer la Terre est un jeu d'enfant !)

Déjà, en juin 2001, plus de 300 élèves de CM1-CM2 ont pu mesurer le tour de la Terre depuis leur classe, simplement en observant l'ombre d'un bâton vertical à midi au soleil et en échangeant leurs mesures avec d'autres classes de France et d'Égypte, via Internet.

Cette année, La main à la pâte renouvelle ce projet en l'étendant à d'autres pays européens et au collège !

Le projet

Sept séquences, regroupant chacune plusieurs activités pouvant se répartir tout au long de l'année scolaire, sont proposées : les élèves apprennent à observer les ombres et le mouvement du Soleil, à construire et utiliser leurs propres instruments de mesure. En mesurant l'ombre d'un gnomon à midi au soleil et en échangeant leurs résultats avec d'autres classes françaises et étrangères via Internet, ils peuvent à leur tour calculer la longueur du méridien terrestre.

http://www.inrp.fr/lamap/activites/ciel_terre/projet/eratos/eratos.html

Le dispositif d'accompagnement

Pour accompagner les enseignants au fil de ces séquences, un réseau de scientifiques et de pédagogues spécialisés en astronomie est mis à leur disposition. Ce réseau répond à leurs questions et les aide à mettre en oeuvre les activités proposées. Un outil interactif de collecte de données leur permet d'échanger facilement leurs mesures avec les autres participants.

http://www.inrp.fr/lamap/activites/ciel_terre/projet/eratos/guide.htm

Événements

Denis Guedj, historien des mathématiques, participe au projet en rédigeant pour les élèves des textes historiques liés aux thèmes scientifiques abordés. Les enseignants peuvent également utiliser le carnet de bord qu'il a rédigé en juin 2001 lors de son voyage en Égypte sur les pas d'Ératosthène.

A la fin de cette année scolaire, le 21 juin 2002, grâce à des mesures simultanées avec des classes égyptiennes (à Alexandrie et Assouan) les élèves reproduiront en direct l'expérience historique qui permit à Ératosthène de mesurer la tour de la Terre il y a plus de 20 siècles !

http://www.inrp.fr/lamap/activites/ciel_terre/projet/eratos/21_06/21juin.htm

Conditions de participation

Ce projet s'adresse aux enseignants de cours moyen et de collège disposant d'un accès à Internet pour la classe ou l'école (ou adresse personnelle).

Inscriptions

Les inscriptions sont ouvertes jusqu'au 30 nov. 2001 à l'adresse suivante :

http://www.inrp.fr/lamap/activites/ciel_terre/projet/eratos/accueil.html

Pour en savoir plus

Consultez le site du projet

http://www.inrp.fr/lamap/activites/ciel_terre/projet/eratos/eratos.html

Contact presse et photos : eratos@inrp.fr

Mireille Hibon.



En Laponie, le Soleil se lève aussi.

Frédéric Dahringer

Au cours de l'expédition en Laponie, relatée dans le n° 94 des Cahiers Clairaut, votre serviteur a réalisé plusieurs expériences fondamentales, dont celles déjà décrites sur le magnétisme terrestre en ces lieux proches du pôle Nord.

Mais mesurer la déclinaison magnétique sans connaître la direction du méridien géographique n'a pas de sens, et une étude préliminaire a permis, à l'aide d'un gnomon vertical, de tracer la direction du méridien géographique.

On trouvera en fig.1 les positions de l'extrémité des ombres du gnomon, expérience faite le 23 février de l'an 2001.

Cette expérience permet bien sûr aussi de faire le point, c'est à dire de calculer la latitude et la longitude de notre camp de base. J'avais à cet effet précieusement gardé, à mon chronomètre, l'heure de notre cher pays. Les méthodes sont connues, elles sont rappelées par les deux schémas suivants (fig.2 et fig.3), faits dans le plan du méridien géographique.

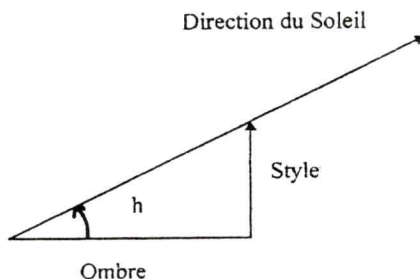
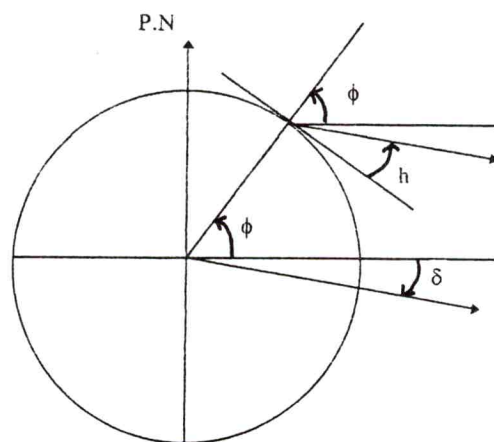


fig.2



ϕ : latitude du lieu
 δ : déclinaison du Soleil
 h : hauteur du Soleil

fig.3

En orientant les angles, on trouve (fig.3) :
 $h - \delta + \phi = 90^\circ$, donc $\phi = 90 - h + \delta$.

Je vous rappelle d'autre part la relation entre l'heure légale en France, l'heure solaire et la longitude :

Heure légale = Heure solaire + 1 heure (ou 2) + L + Equation du temps,
 où L est la longitude du lieu.

Pour mettre à l'épreuve la fiabilité de notre méthodologie, je m'empressai de répéter l'expérience, quand après de multiples aventures, je revins au logis. Les résultats sont donnés fig.4.

fig. 1
relevé d'ombre du style
en Laponie
le 23 février 2001
(heure française)

• 10^H20
• 10^H50
• 11^H21
• 11^H45
• 12^H25

• style vertical. 22 mm.

fig. 4
relevé d'ombre du style
à Bubry (France)
le 21 mars 2001

• 11^H42
• 12^H00
• 12^H16
• 12^H39
• 12^H54
• 13^H26
• 14^H02
• 15^H12
• 15^H41
• 16^H42

• style vertical. 22 mm.

Je vais vous laisser faire les calculs de longitude et de latitude pour ces deux lieux, en vous donnant cependant les indications suivantes :

Le style a une hauteur H de 22 mm.

Date	déclinaison du Soleil	Equation du temps
23-02-01	- 9°53'	+ 13 min 24 s
01-03-01	- 7° 38,5'	+ 12 min 25 s

Et pour vérifier vos résultats, voilà les coordonnées exactes de mon lieu d'habitation :

latitude : 47° 58' N ; longitude : 3° 10' W

Vous pourrez même calculer la précision de la mesure de latitude, et donc en distance à la surface de la Terre, en calculant les valeurs extrêmes possibles, sachant que le style a été mesuré à 0,1 mm près, et que la longueur des ombres ne peut être estimées qu'à 0,5 mm près compte tenu de la précision des relevés.

Le Soleil se lève, mais qu'il est bas sur l'horizon !

Si savants que nous fussions tous, nous fûmes cependant très surpris de voir le Soleil si bas sur l'horizon. Pour en avoir une idée, vous pouvez retracer le mouvement du Soleil au-dessus de l'horizon, pendant les quelques heures de l'observation, en France et en Laponie. Le schéma suivant (fig.5) vous suggère une méthode à suivre, en utilisant le théorème de notre vénéré Thalès.

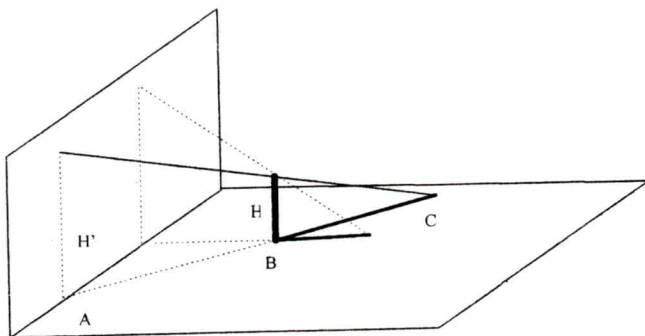


fig. 5

La direction des ombres du style permet de connaître la direction du Soleil ; H' représente la distance géométrique du Soleil au-dessus de l'horizon mesurée dans un plan vertical choisi, et H' et H sont dans le même rapport que AC et BC, grandeurs mesurables sur le plan horizontal.

Le Soleil reste bien bas, mais que le jour est long !

Une autre surprise fut de découvrir la durée des aurores et des crépuscules. Il faisait jour beaucoup plus longtemps que ne le laissait penser la présence du Soleil.

Il est vrai que dans notre pays de France, par exemple, la loi définit le crépuscule civil, comme étant la durée durant laquelle, le Soleil étant sous l'horizon, n'en est pas séparé d'un angle supérieur à 6°. Et nos confrères astronomes estiment que la direction du Soleil doit faire, avec le plan horizontal, un angle supérieur à 18° pour qu'il fasse nuit !

Le dessin ci-dessous (fig.6) et mieux encore le "Simulateur de mouvement du Soleil" (Cahier pédagogique du n° 95) décrit par Rosa M. Ros, la responsable de notre expédition, vous feront comprendre que le Soleil, sous ces latitudes, reste très longtemps à une faible distance du plan équatorial.

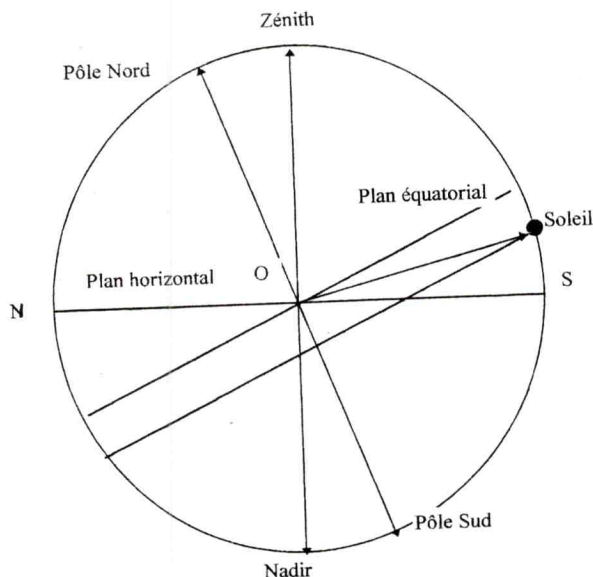


fig. 6

L'observateur est en O. Le cercle représente la coupe, selon le plan méridien, de la sphère céleste locale. La hauteur du Soleil, à midi solaire, est l'angle en O, entre le plan horizontal et la direction du Soleil. Durant les 24 heures d'une journée d'hiver, le Soleil se déplace le long du plan parallèle au plan équatorial, dessiné sur le schéma. Ce plan n'est pas très incliné sur le plan horizontal, ce qui fait que le Soleil ne monte pas très haut au-dessus de l'horizon, mais aussi qu'il met du temps à être très bas sous l'horizon, à son coucher, si bien que le crépuscule est long.

Sauriez vous, cher lecteur, modifier ce schéma suivant la latitude du lieu d'observation et suivant la saison ?

Mes travaux furent mis en doute !

Cependant que je multipliai à l'envie les conférences relatant mes aventures et les résultats de mes travaux, j'eus de plus en plus de collègues sceptiques et méticuleux, qui doutèrent des résultats de mes mesures. Certains allèrent jusqu'à chercher des cartes établies par les hardis navigateurs et

explorateurs qui m'avaient précédé, et me montrèrent que les Monts Pallas, auxquels je faisais référence dans mes récits étaient à une latitude moins grande que celle donnée par mes mesures et que vous avez certainement trouvée.

Je dus me remettre à l'ouvrage. Pour tenter de justifier mes résultats, j'invoquai, puisque le Soleil était très bas sur l'horizon, la réfraction atmosphérique ; ou un phénomène de mirage, puisque j'avais constaté que quelques centimètres sous la neige la température était de -26°C alors que l'air était à -40°C . Mais cette variation de température est certainement insuffisante à créer un phénomène de mirage dont je n'ai pas entendu parler dans ces contrées glacées.

Je vous présente ci-dessous les 2 schémas (fig. 7 et fig. 8) que j'ai faits lors de ces recherches et vous laisse juge de leur pertinence.

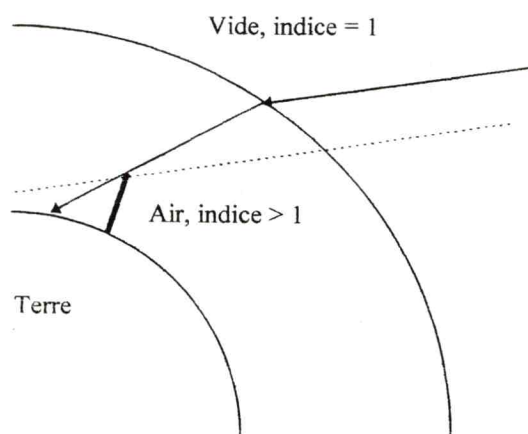


fig.7

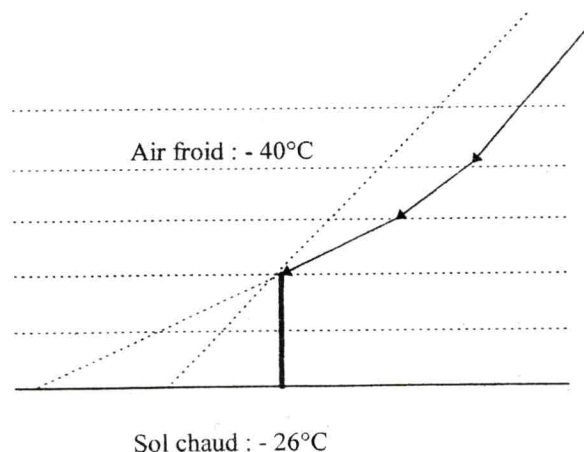


fig.8 :
l'indice de refraction décroît quand l'air s'échauffe

J'en fus réduit à mettre en cause mon habileté manipulative. Le stylet était fixé perpendiculairement à une plaque métallique d'environ 26 cm (selon la direction Sud-Nord) sur 24 cm. Cette plaque devait donc être parfaitement horizontale pour que la mesure soit bonne. Je l'avais placée sur un mur enneigé, mais n'avais aucun instrument de précision pour régler la position de cette plaque et par cette température de -40°C , je n'ai, sans doute pas pris le temps nécessaire à un bon réglage. J'ai peut être eu la situation suivante.

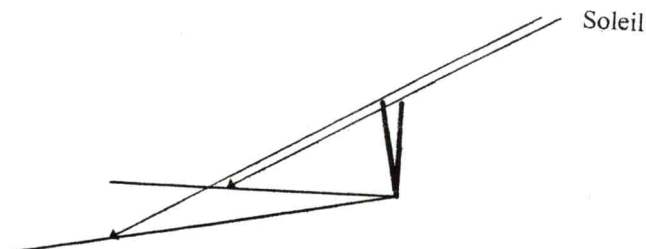


fig. 9 : styles de même longueur, l'un penchant vers le nord

Nos hôtes en Laponie ont pu me communiquer, les coordonnées de notre camp de base à Raattama : latitude : $68^{\circ} 14' \text{ N}$; longitude : $24^{\circ} 00' \text{ E}$.

Vous avez ainsi tous les éléments, cher lecteur, pour prouver ma maladresse, en calculant la différence de niveau de la plaque, suivant l'axe Sud-Nord, en ne tenant compte que de l'erreur sur la latitude.

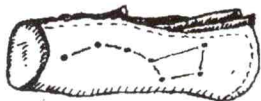
Et pour conclure :

Je vous remercie cher lecteur, d'avoir accepté de vérifier mes calculs et mes hypothèses, et je sais gré à mes savants collègues de m'avoir poussé à imaginer les différents facteurs qui auraient pu fausser mes résultats.

J'en viens à penser que la technique utilisée n'est pas assez précise ; j'ai cependant entendu parler d'autres instruments, sextant, GPS, etc, etc. Voilà encore bien des choses à étudier !

La deuxième semaine du mois de juillet 2002 aura lieu dans les environs de Raattama, au pied des monts Pallas la 6^e Université d'été d'astronomie de l'EAAE, avec en prime le Soleil de Minuit.

Pour l'inscription voir l'encadré p. 37.



L'obliquité de l'écliptique et sa mesure

Pierre Causeret

Cette expression compliquée d'obliquité de l'écliptique, désigne l'angle que fait l'axe de la plupart des globes terrestres des salles de géographie avec la verticale : un peu plus de 23° .

Mot à mot, obliquité signifie inclinaison et l'écliptique est le plan de l'orbite de la Terre : l'obliquité de l'écliptique est donc l'inclinaison du plan de l'orbite terrestre, sous-entendu par rapport au plan de l'équateur. Les astronomes grecs et arabes étaient déjà capables de la mesurer à quelques minutes d'angle près, en utilisant des méthodes simples que l'on peut reproduire avec nos élèves.

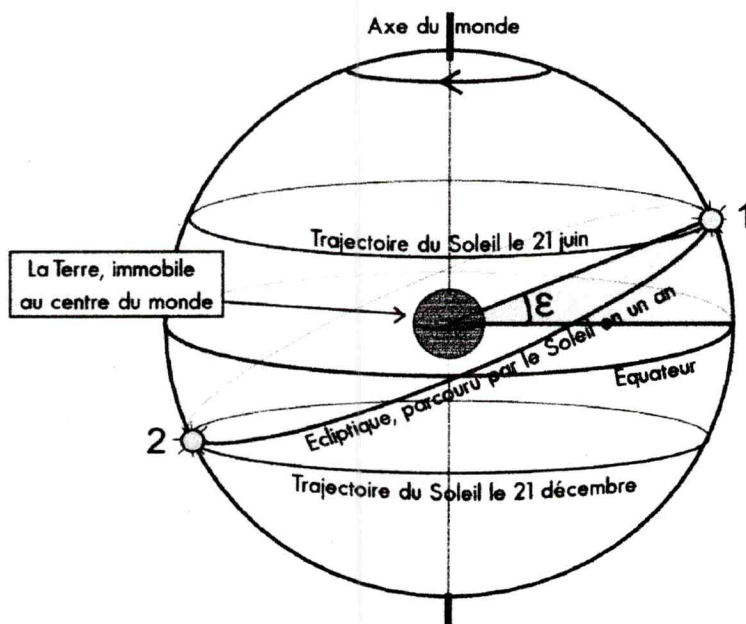


fig. 1 : système géocentrique

L'obliquité de l'écliptique en système géocentrique

La Terre est immobile au centre du monde. La sphère des fixes, qui supporte les étoiles, est centrée sur la Terre et tourne sur elle-même d'est en ouest en un jour sidéral (23 h 56 min et 4 s). L'équateur est le grand cercle perpendiculaire à l'axe du monde.

Le Soleil se trouve sur cette sphère mais il se déplace chaque jour d'environ un degré vers l'est. Il lui faut un an pour revenir à son point de départ. L'écliptique est la trajectoire annuelle du Soleil sur la sphère des fixes.

Voici (fig. 1 à gauche) de manière simplifiée comment les Grecs se représentaient le monde il y a plus de 2000 ans.

Cette représentation correspond assez précisément à ce que l'on observe depuis la Terre et à ce que l'on reproduit dans un planétarium. On pourrait apporter quelques améliorations à ce système pour rendre compte des durées inégales des saisons et des variations du diamètre apparent du Soleil mais cela n'a pas d'intérêt ici.

L'obliquité de l'écliptique est l'angle que fait le plan de l'écliptique avec le plan de l'équateur. On l'a noté ϵ sur la figure.

Au solstice d'été (position 1), on peut vérifier que le Soleil est situé "au-dessus" (au nord) du plan de l'équateur alors qu'au solstice d'hiver (position 2), il est "en dessous" (au sud). Dans ces deux positions, la direction du Soleil forme avec le plan de l'équateur un angle égal à l'obliquité ϵ .

L'obliquité de l'écliptique en système héliocentrique

C'est maintenant au tour du Soleil d'être immobile au centre du monde. La Terre tourne sur elle-même en un jour sidéral et autour du Soleil en un an, son axe gardant une direction fixe dans l'espace.

Le plan de l'équateur est perpendiculaire à l'axe de la Terre. Le plan de l'écliptique est ici le plan de l'orbite de la Terre. Sur la figure 2, il est représenté incliné comme sur la figure 1, le plan de l'équateur étant imaginé horizontal. L'obliquité de l'écliptique est l'angle formé par ces deux plans.

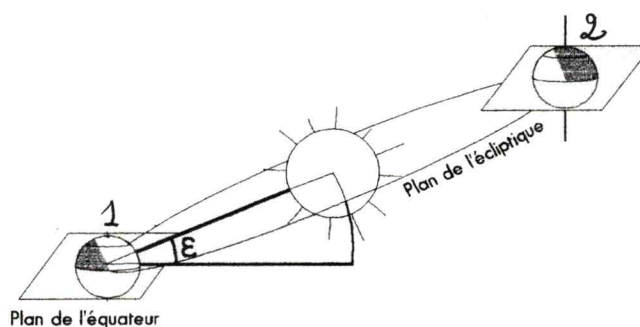


fig. 2 : système héliocentrique

Exactement comme sur la figure 1, on vérifie que le Soleil est situé au-dessus du plan de l'équateur au solstice d'été (position 1) et en dessous au solstice d'hiver (position 2). Dans ces deux cas, l'angle que fait la direction du Soleil avec le plan de l'équateur est égal à l'obliquité ϵ .

Obliquité de l'écliptique ou de l'équateur ?

Certains lecteurs ont peut-être été choqués par le schéma précédent. Il est vrai que l'habitude est plutôt de représenter le plan de l'écliptique horizontal et le plan de l'équateur incliné. Cette représentation est plus courante mais n'est pas plus valable que la précédente, il n'y a ni haut ni bas dans l'espace.

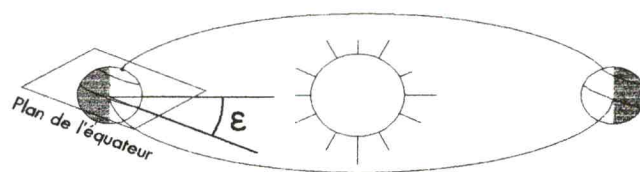


fig. 3 : système héliocentrique avec plan de l'écliptique horizontal

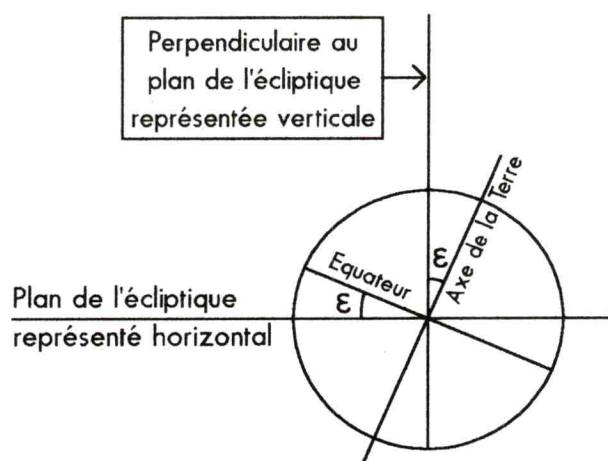


fig. 4

Dans cette représentation, l'axe de la Terre forme avec la verticale un angle égal à l'obliquité ϵ (les deux angles égaux à ϵ ont des côtés perpendiculaires deux à deux).

C'est pour cela qu'on a pris l'habitude d'avoir des globes terrestres avec un axe incliné. Ce qui n'a un sens que si on représente le plan de l'écliptique horizontal. C'est tout de même le plus pratique : lorsque, dans une salle de classe, on fait tourner un globe terrestre autour du Soleil, il est plus facile de le laisser à la même hauteur. Mais il faut bien avoir

conscience que cette inclinaison de nos globes terrestres est totalement arbitraire.

L'axe de la Terre est vertical

Verticale = droite passant par le centre de la Terre.

L'axe de la Terre passant bien par son centre, il est parfaitement vertical.

Par contre, si on réalise une maquette dans laquelle le plan de l'écliptique est horizontal, l'axe de la Terre **dans cette maquette** n'est pas vertical.

On a trop souvent tendance à confondre le réel avec sa représentation.

Principe de la mesure de l'obliquité

Equateur et latitude

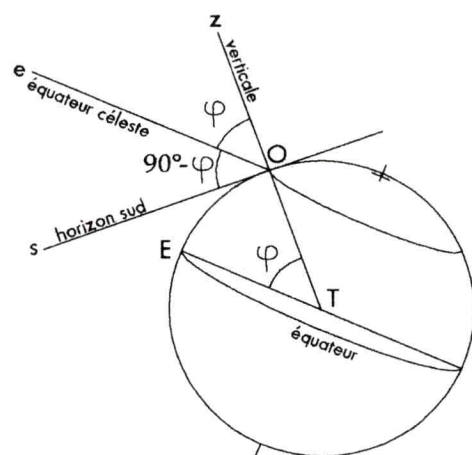


fig. 5 : hauteur de l'équateur céleste au dessus de l'horizon

Ce schéma est réalisé dans le plan du méridien de l'observateur O que l'on peut définir comme le plan contenant l'observateur et l'axe de la Terre ou encore le plan vertical passant par l'observateur et orienté nord sud.

z est la direction du zénith.

e est la direction de l'équateur céleste dans le plan du méridien (côté sud ici).

s est la direction horizontale sud.

φ est la latitude de l'observateur.

Les angles ETO et eOz sont égaux (angles "correspondants").

Sur la figure 5, on peut vérifier que l'on a : $sOe = 90^\circ - \varphi$ (les angles sont mesurés en degrés). Ce qui signifie que, dans

le plan du méridien, la hauteur de l'équateur est égale au complémentaire de la latitude.

Hauteur du Soleil aux solstices.

Nous avons vu que, aussi bien en système géocentrique qu'en héliocentrique, la direction du Soleil aux solstices fait avec le plan de l'équateur un angle égal à ϵ , l'obliquité de l'écliptique.

On considère le Soleil à midi aux solstices. Par définition du midi solaire, il est dans le plan du méridien de l'observateur.

La hauteur du Soleil à midi est de $90^\circ - \varphi + \epsilon$ au solstice d'été et de $90^\circ - \varphi - \epsilon$ au solstice d'hiver

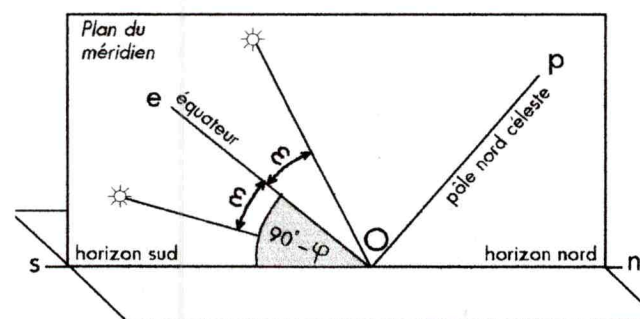


fig. 6 : hauteur du Soleil à midi aux solstices

Calcul de ϵ :

Pour déterminer l'obliquité ϵ (ainsi que sa latitude φ), il suffit donc de mesurer la hauteur du Soleil à midi au solstice d'été (on la notera h_1) puis la hauteur du Soleil à midi au solstice d'hiver (h_2).

$$h_1 = 90^\circ - \varphi + \epsilon \text{ et } h_2 = 90^\circ - \varphi - \epsilon$$

La moyenne h_0 de h_1 et h_2 donne le complémentaire de la latitude : $(h_1 + h_2) / 2 = 90^\circ - \varphi$.

L'écart à la moyenne, $h_1 - h_0$ ou $h_0 - h_2$, ou encore $(h_1 - h_2) / 2$ donne l'obliquité : $(h_1 - h_2) / 2 = \epsilon$

Exemple de mesure

Sur le saladier (fig.7), on a relevé la position apparente du Soleil le 23 septembre, le 16 décembre et le 23 juin.

On n'est pas tout à fait aux bonnes dates pour les solstices mais il se trouve qu'à ces époques de l'année, la hauteur du Soleil varie très peu. L'erreur induite sera donc faible.

On a noté a, b et c les positions du Soleil à midi le 16/12, le 23/09 et le 23/06 (fig. 8).

On mesure $h_1 = sMc = 65^\circ$

Et $h_2 = sMa = 19^\circ$

D'où $e = (h_1 - h_2) / 2 = 23^\circ$

On peut en déduire aussi la latitude :

$90^\circ - \varphi = (h_1 + h_2) / 2 = 42^\circ$ et $\varphi = 48^\circ$

Avec un simple saladier, on trouve 23° pour l'obliquité, une valeur correcte au degré près ce qui n'est pas si mal...

On peut mesurer de manière beaucoup plus précise la hauteur du Soleil à midi aux solstices pour trouver ϵ avec plus de précision. On pourra par exemple utiliser la technique de Francis Berthomieu décrite sur le site du CLEA.

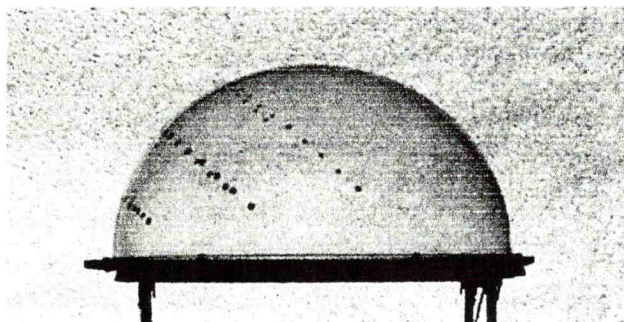


fig. 7

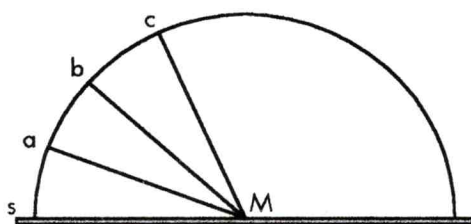


fig. 8

Mesures grecques

Les premiers instruments astronomiques plus évolués que le cadran solaire datent du 3^e et du 2^e siècle avant notre ère (cercles gradués, sphères armillaires).

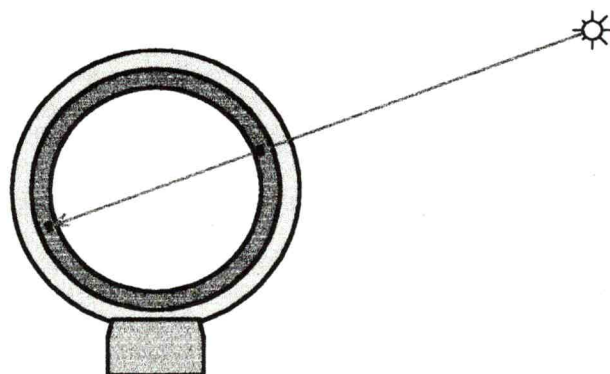


fig. 9 Armillaire de solstice

L'armillaire de solstice schématisée ici est constitué de deux anneaux de bronze placés dans le plan du méridien. Elle permet de mesurer la hauteur du Soleil à midi en faisant coulisser l'anneau interne jusqu'à ce que l'ombre d'un des repères (en noir) tombe sur l'autre repère.

On trouve chez Ptolémée la valeur de $23^\circ 51'$ pour l'obliquité, ce qui est un peu excessif.

Mesures arabes

Cette pièce obscure, construite au 10^e siècle à Rayy (au sud de Téhéran) était équipée d'une petite ouverture dans le toit laissant passer la lumière du Soleil. Le sextant, d'un rayon de 20 mètres, était recouvert de plaques de cuivre graduées. Chaque degré mesurait environ 35 cm et était partagé en 360 parties de 10" chacune. L'image du Soleil était un disque d'environ 18 cm de diamètre. On imagine la précision possible...

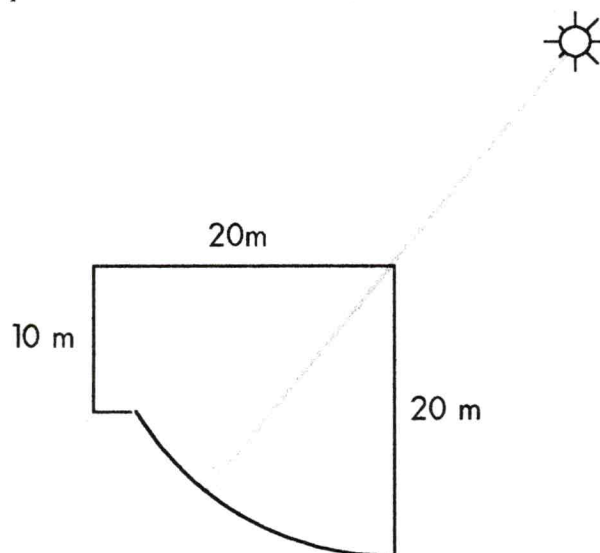
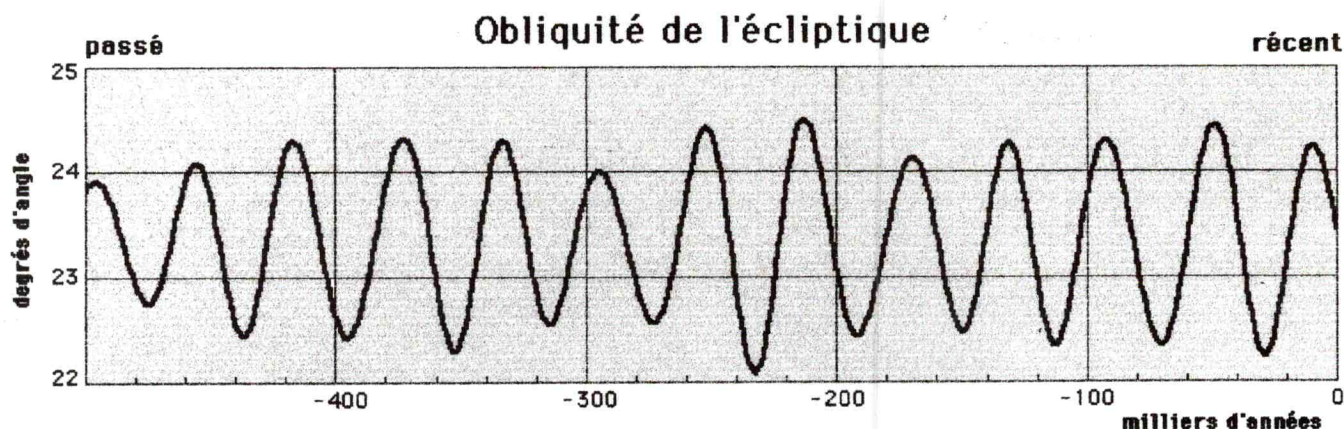


fig. 10 : sextant géant construit dans une pièce noire à Rayy (10^e siècle)



En 994, al-Khujandi mesura que l'obliquité de l'écliptique était égale à $23^{\circ} 32'$

Au 9^e siècle, l'astronome al Battani donnait comme valeur $23^{\circ} 35'$.

Diminution de l'obliquité

En 1671, Jean Dominique Cassini obtenait $23^{\circ} 28' 47''$ grâce à la méridienne qu'il avait installée à Bologne. En 1730, son fils Jacques Cassini trouvait $23^{\circ} 28' 20''$ soit $27''$ de moins.

En 1743, l'astronome Charles Le Monnier conçoit la méridienne de l'église St Sulpice à Paris. Il observera pendant 48 ans. L'ocillon est situé à près de 25 mètres de haut et le Soleil fait une tache lumineuse au sol de plus de 23 cm de petit axe.

Il n'empêche qu'au solstice d'été, une erreur de mesure de 1 mm sur l'emplacement de la tache correspond à une erreur de $7''$ sur la hauteur du Soleil ! On imagine la précision nécessaire...

Le Monnier montre que la diminution de l'obliquité de l'écliptique est bien réelle et il l'estime à environ $30''$ par siècle. Elle est en réalité un peu plus grande.

Variations de l'obliquité

Ptolémée donnait comme mesure de l'obliquité $23^{\circ} 51'$ alors que al Battani trouvait $23^{\circ} 35'$.

Au 18^e siècle, on citait aux alentours de $23^{\circ} 28' 20''$

Flammarion, dans son *Astronomie Populaire* donnait $23^{\circ} 27' 55''$ pour 1800 et $23^{\circ} 27' 9''$ pour 1900. La valeur moyenne pour 2000 est de $23^{\circ} 26' 21''$.

Au cours des siècles, la valeur de l'obliquité donnée par les astronomes diminue. Il s'agit bien d'une diminution réelle même si Ptolémée s'était trompé d'une dizaine de minutes.

De nombreux livres et articles donnent d'ailleurs toujours l'ancienne valeur de $23^{\circ} 27'$ alors que l'on doit arrondir actuellement à $23^{\circ} 26'$.

D'où vient cette diminution de l'angle formé par le plan de l'équateur avec le plan de l'écliptique ? Ce n'est pas l'axe de la Terre qui bouge comme on pourrait le croire mais un déplacement du plan de l'écliptique par rapport aux étoiles, dû à l'attraction gravitationnelle des planètes sur la Terre.

Actuellement, elle diminue de $47''$ par siècle.

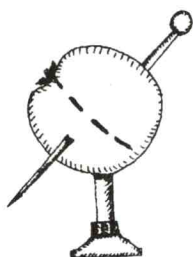
Il faut aussi citer la nutation luni solaire qui provient de l'attraction de la Lune et du Soleil sur le bourrelet équatorial terrestre et qui modifie l'orientation de son axe. Cette attraction est responsable de la précession des équinoxes mais aussi d'autres petites irrégularités de courtes périodes. La principale composante, due à la Lune, a une période de 18,6 ans et une amplitude maximale de $9''$.

L'obliquité de l'écliptique diminue à court terme mais ne va pas s'annuler. Elle oscille en gros entre 22° et $24^{\circ} 30'$ avec une période de 41000 ans.

Le schéma ci-dessus, représentant ces variations, a été récupéré sur le site du Muséum National d'Histoire Naturelle (tous les détails sur http://www.mnhn.fr/mnhn/lop/DIOGENE/morphologie/variations_obliquite.html)

Bibliographie

- Histoire des sciences arabes. Roshdi Rashed (Seuil). 1997.
- Fenêtre sur l'Univers (histoire des instruments de l'astronomie). Richard Learner (Denoël). 1984.
- L'Astronomie, la revue de la Société Astronomique de France, de mai 1990.
- Activités astronomiques au collège et au lycée. Pierre Causeret (CRDP Dijon). 2002.



Testons la vitesse de la lumière

G. Paturel et P. Valvin,
Observatoire de Lyon

Georges Paturel nous raconte avec beaucoup d'humour comment deux physiciens curieux ont imaginé un dispositif ingénieux leur permettant d'expérimenter de manière palpable la finitude de la vitesse de la lumière.

S'inspirant des expériences historiques de Foucault et Fizeau mais en utilisant les outils électroniques modernes ils ont réussi à mesurer, avec une précision honorable cette vitesse. C'est dans un vieux tunnel désaffecté qu'ils ont installé leur montage.

La mesure de la vitesse de la lumière a joué un rôle privilégié dans l'histoire des sciences. Elle a excité les imaginations et continue de le faire même si le problème ainsi posé a perdu son sens depuis qu'une convention fixe la vitesse de la lumière à une valeur bien déterminée :

$$c = 299792,459 \pm 0.0012 \text{ km.s}^{-1}$$

A défaut de faire la mesure pour améliorer la connaissance de c , il est envisageable de refaire les expériences historiques de Foucault ou de Fizeau. L'aventure a souvent été tentée mais souvent sans succès car ces expériences ne sont pas faciles à bricoler. Faute de mesurer c , on mesure au moins le génie de nos glorieux prédécesseurs qui devaient rivaliser d'ingéniosité pour surmonter les difficultés innombrables. Car la lumière va vite... très vite.

Nous avons voulu nous lancer dans l'aventure à notre tour mais en utilisant les moyens électroniques modernes : un laser modulable, un générateur de signaux pour moduler le laser, un récepteur optique, un

oscilloscope à deux voies, quelques alimentations électriques de laboratoire et... un tunnel.

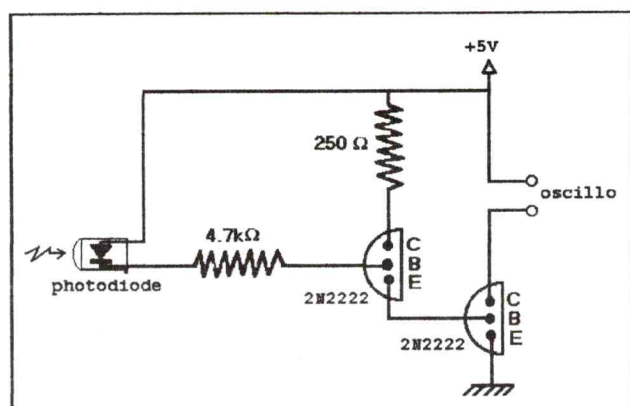
Nous allons décrire l'expérience et vous livrerons les résultats bruts et les commentaires qu'ils nous inspirent.

Description de l'expérience

Le principe de l'expérience se comprendra aisément. Un laser est placé à l'entrée du tunnel sur un bâti bricolé avec quelques tubes en PVC et quelques planches (pour la petite histoire ce tunnel servait jadis aux astronomes expérimentateurs de l'observatoire de Lyon mais il a été relégué au rang de fourre-tout sale et insalubre. Il a du être satisfait de nous voir débarquer avec notre appareillage).

Le faisceau lumineux du laser est modulé à l'aide d'un générateur de laboratoire. Il faut dire que ce laser était prévu pour ça. Le signal sinusoïdal de modulation est envoyé à l'entrée de modulation du laser. A l'autre bout du tunnel nous avons placé un miroir supporté par un autre bâti

bricolé. Le faisceau revient donc en écho vers le laser après avoir fait un aller et retour dans le tunnel. Ce faisceau réfléchi est alors capté par un récepteur optique composé d'une photodiode rapide et d'un petit amplificateur de notre conception (schéma ci-dessous).



La sortie de l'amplificateur est envoyée sur l'entrée de l'oscilloscope. Il n'y a pas besoin de faire un dessin pour vous faire comprendre. Le principe consiste à faire la mesure pour deux positions de miroir séparées d'une longueur L . Si nous enregistrons sur l'oscilloscope le décalage dt entre les deux sinusoïdes correspondantes, la vitesse de la lumière s'obtient simplement par $c = 2.L / dt$.

Mais vous l'avez compris, c étant fixé par décret, la mesure dt ne conduit en fait qu'à la mesure de la longueur du tunnel $L = c.dt / 2$.

Vous pouvez vous demander pourquoi faire l'expérience dans un tunnel. C'est vrai que ce n'est pas rigoureusement indispensable (tout le monde n'a pas un tunnel à disposition). Il est cependant plus facile de détecter l'écho quand il n'y a pas trop de lumière parasite. Une autre remarque s'impose. Le fait de faire une mesure différentielle entre deux positions du miroir réflecteur nous permet de faire disparaître les déphasages que l'électronique introduit. Par expérience nous avons constaté qu'il était préférable d'utiliser une modulation sinusoïdale plutôt qu'une modulation par impulsions. A première vue il peut sembler plus facile de mesurer l'écart dt entre deux impulsions bien verticales. Malheureusement, l'impulsion reçue en écho n'avait pas la belle allure attendue ce qui rendait la mesure impraticable.

Nous avons réalisé un support laser réglable en direction et en inclinaison. Le miroir distant était également réglable en direction et en inclinaison. Le miroir proche était réalisé simplement à partir d'une feuille d'aluminium pliée à angle droit.

Une grande difficulté fut de recevoir l'écho sur le récepteur après la réflexion sur le miroir lointain. Le faisceau réfléchi subit une diffraction par le miroir et le retour ne se présente pas comme un beau spot illuminant la photodiode

réceptrice. Il faut être deux pour faire l'expérience. Le premier règle le miroir le second regarde l'oscilloscope et guide le réglage de l'orientation du miroir. Quand l'écho est reçu et qu'on voit une belle sinusoïde sur l'oscillo, le plus dur est fait. Reste à mesurer la longueur du tunnel au milieu des débris et des toiles d'araignées.

Signalons un dernier point de détail. Nous avons la possibilité d'envoyer directement sur une seconde trace de l'oscilloscope le signal du modulateur sinusoïdal (celui-là même qui est envoyé sur le laser). Nous pouvions ainsi mesurer le déphasage par rapport à une origine fixe. Le temps T était simplement la différence entre les deux



Le tunnel

Les résultats

Nous avons répété quatre fois l'expérience avec deux fréquences de modulation différentes (400 kHz et 200 kHz). La valeur de cette fréquence n'a normalement pas d'influence sur le résultat. Nous avons mesuré la longueur du tunnel (distance jusqu'au miroir lointain). Nous avons trouvé $L_2 = 90,18$ m. La distance jusqu'au miroir proche était de $L_1 = 0,50$ m.

C'est à dire $2L = 2(L_2 - L_1) = 179,36\text{m}$

Les déphasages par rapport à une origine arbitraire furent les suivants pour les quatre modulations (nous donnons les résultats, sans tricher, tels qu'ils furent obtenus) :

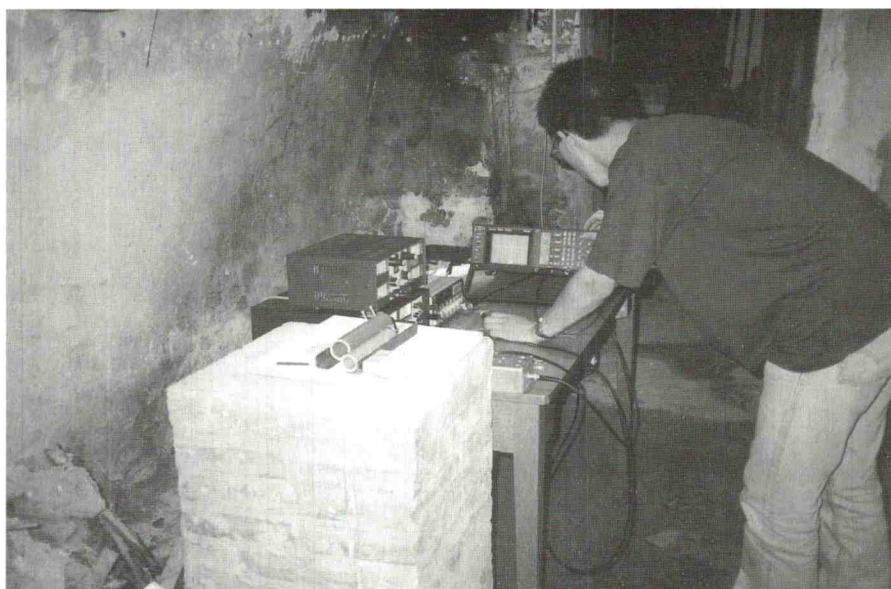
mesure modulation,
miroir M_1 ,
miroir M_2 ,
c

1400 kHz	1,60 μs	1,00 μs	299767 km/s
2400	1,66	1,10	399689
3200	2,55	1,73	218012
4211	2,30	1,65	276708

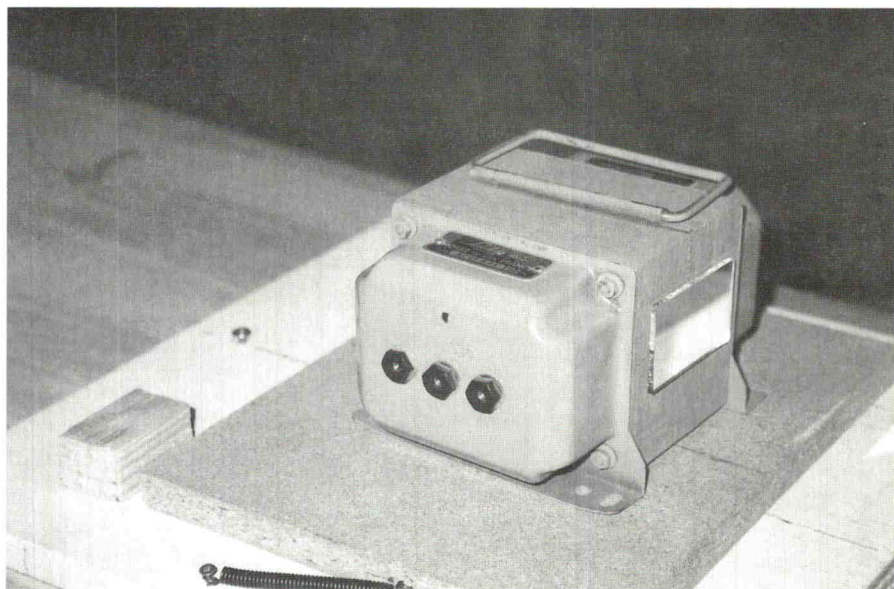
La valeur moyenne est donc :
 $c = 298544 \pm 38000 \text{ km/s}$.

La précision n'est pas "géniale" (environ 13%). Il serait possible de peaufiner la mesure du déphasage par des méthodes de superposition. On pourrait envisager aussi de cumuler les mesures sur un grand nombre de trajets aller et retour... bref, nous faisons confiance à votre imagination si l'expérience vous tente. A notre décharge (pour le manque de précision) nous devons dire que nous n'avons consacré que quelques jours à cette expérience. La mesure elle-même ne fut réalisée qu'au cours d'une seule veillée, à 23 heures, la veille du départ de l'un d'entre nous (PV) pour un voyage lointain.

Néanmoins, cette expérience nous a procuré une certaine émotion car nous avons pu percevoir la finitude de la vitesse de la lumière de manière très tangible ; une expérience à vivre pour un physicien !



l'appareillage



**Le miroir au bout du tunnel
(miroir collé sur un transformateur)**



Avis aux lecteurs

Participez à l'élaboration des Cahiers, donnez votre avis sur le contenu et envoyez-nous des articles

Les Cahiers sont l'organe de liaison du CLEA. Prenez le temps de nous dire ce que vous en attendez ; n'hésitez pas à commenter ou compléter un article ; parlez-nous d'un ouvrage ou d'une visite qui vous a intéressé(e), racontez-nous une expérience pédagogique. Nous avons besoin de vos idées et de vos réactions pour continuer.

La Rédaction.

(Ecrire à Martine Bobin : 18, chemin des Bienfaits 91 530 Le Val Saint-Germain ; martine.bobin@wanadoo.fr)



L'obliquité de l'écliptique

Pierre Causeret

REMUE-MÉNINGES



Voici deux photos du Soleil à midi solaire, prises depuis le même lieu avec à peu près le même cadrage. La première a été faite aux alentours du solstice d'hiver et la deuxième au solstice d'été.

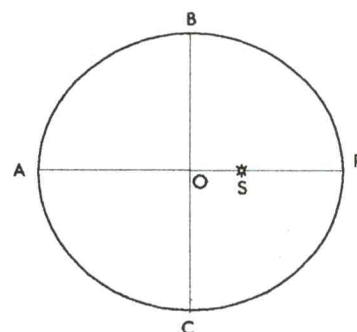
On demande de calculer l'obliquité de l'écliptique. Vous pouvez vous aider de l'article sur le sujet dans ce même numéro.

L'appareil utilisé était un reflex 24x36 muni d'un grand angle de 25 mm de focale (la hauteur de la photo correspond à un angle de 72°).



Solution du n°94 Calcul de l'excentricité de l'orbite terrestre

Petit rappel sur les ellipses



O : Centre de l'ellipse

S : Soleil, un foyer de l'ellipse

$a = OA$ = demi-grand axe

$b = OB$ = demi-petit axe

$c = OS$ = demi-distance focale

$PS = a - c$ (distance minimale)

$AS = a + c$ (distance maximale)

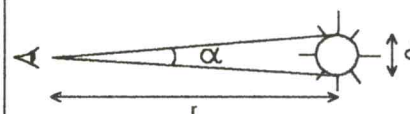
$e = c / a$ = excentricité

$$a^2 = b^2 + c^2$$

Calcul de l'excentricité

On commence par mesurer le diamètre du Soleil sur chacune des photos : on obtient 85 et 88 mm.

Cette mesure est proportionnelle au diamètre apparent du Soleil (α) qui est lui même inversement proportionnel à la distance r (si on suppose le diamètre d du Soleil constant).



$$d = r\alpha \text{ (avec } \alpha \text{ en radians)}$$

$$\text{Donc } AS = k / 85 \text{ et } PS = k / 88$$

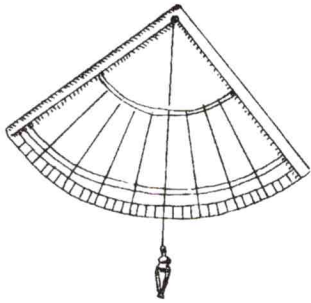
$$\text{Comme } AS = a + c \text{ et } PS = a - c,$$

$$AS + PS = 2a \text{ et } AS - PS = 2c \text{ d'où}$$

$$e = c / a = (AS - PS) / (AS + PS) = 3 / 173 \sim 0,0173$$

Si on compare avec l'excentricité des astronomes, 0,0167, ce n'est pas mal du tout.

Précision obtenue cette fois encore avec un peu de chance...



Le Verrier,

les ombres du personnage

Colette le Lay

A ce jour, aucun biographe n'a consacré à Urbain Joseph Le Verrier (Saint Lô 1811 - Paris 1877) le livre qui nous permettrait de cerner sa personnalité complexe et son poids considérable sur l'astronomie française de la deuxième moitié du XIX^e siècle. Je ne suis pas seule à appeler cet ouvrage de mes vœux. En attendant, je propose au lecteur quelques opinions de contemporains jetant un éclairage sur les côtés peu recommandables de "l'illustre découvreur de Neptune". La période que j'explore s'étend de 1854 à 1872 et débute donc huit ans après le triomphe du calcul de la position de la nouvelle planète.

La réorganisation de l'Observatoire (1854)

Dès 1846, fort de son succès, Le Verrier tente de pousser vers la porte Arago à qui il est pourtant redevable de l'idée d'étudier les perturbations d'Uranus. Il doit néanmoins patienter jusqu'à la mort de ce dernier en 1853 pour pouvoir prendre place dans le fauteuil directorial. En 1854, il obtient la séparation de l'Observatoire et du Bureau des Longitudes dont il prélève les instruments et une grande partie du personnel. Sa conception de la division du travail est claire :

On ne doit pas livrer à la publicité les noms des aides-astronomes qui font des découvertes, dont tout le mérite revient exclusivement au directeur sous les ordres duquel ils sont placés. Du reste, ces jeunes astronomes reçoivent une gratification et une médaille pour chaque découverte.

De nombreux astronomes chevronnés, habitués à l'autonomie que leur laissait Arago, ne l'entendent pas de cette oreille.

Le nouveau directeur en obtient le départ. Ainsi en est-il de Laugier qui proteste en ces termes auprès du ministre de l'Instruction :

Quel est le savant de mérite qui consentira à devenir le subordonné de M. Le Verrier ? à consacrer son temps à exécuter machinalement les observations et les calculs ordonnés par ce directeur ? le bouleversement me paraît complet ; non seulement on nomme à la place de directeur un homme entièrement étranger à l'observation et à la pratique d'un observatoire, et de plus un homme dont le caractère n'est pas de nature à permettre autour de lui des collaborateurs, mais seulement des subordonnés, des machines.

Mécanique céleste, observation, astrophysique.

Dans sa lettre, Laugier met l'accent sur un reproche récurrent fait à Le Verrier : il a acquis sa gloire par ses travaux de mécanique céleste, et seule cette branche de l'astronomie trouve grâce à ses yeux. Le

bureau de calcul devient le maillon essentiel de l'Observatoire et l'observation est réduite à la portion congrue. Voici comment Victor Duruy, ministre de l'Instruction, relate à l'Impératrice l'incident qui l'oppose à Le Verrier en 1868 :

M. Le Verrier, qui tient du Ministère de l'Instruction publique trois fonctions, qui est professeur et ne professe pas, inspecteur général et n'inspecte pas, directeur, mais dirigeant trop, M. Le Verrier, ne reconnaît pas le ministre (...) Une magnifique éclipse de Soleil va avoir lieu. Depuis six mois, les Anglais sont prêts, leurs instruments, leurs astronomes sont partis ; et nous n'avons pas commencé. (...) M. Le Verrier m'a fait dire samedi qu'il n'avait ni les hommes ni les instruments nécessaires et que, pour ceux-ci seulement, il faudrait trois mois de construction et d'expérimentation, ce qui, avec les quarante jours pour le voyage et les trois semaines pour l'installation, nous ferait arriver après l'éclipse.

Depuis 1859, les travaux de Kirchhoff et Bunsen ont donné naissance à une nouvelle direction de recherches, la spectroscopie. Allemands, Anglais et Italiens y engrangent les découvertes. Malgré les assauts répétés de Hervé Faye et Jules Janssen, Le Verrier ne voit pas la nécessité de créer un observatoire d'astrophysique en France. Meudon ne verra le jour qu'en 1876.

L'astronomie populaire

Arago s'était illustré par son insaisissable activité vulgarisatrice. Le succès de son cours public l'avait conduit à faire bâtir un amphithéâtre à l'Observatoire en 1841. Camille Flammarion, recruté comme calculateur, raconte ce qu'il advient de l'un et de l'autre :

Au Bureau des Calculs, nous étions six jeunes employés, élèves-astronomes, chacun à sa table, dans la grande salle du 1er étage, occupée maintenant par la bibliothèque, et ornée du grand tableau noir en bois sculpté du cours d'astronomie populaire d'Arago, transporté là en 1854, lorsque Le Verrier supprima ce cours et détruisit l'amphithéâtre pour le convertir en appartements.

Pour la petite histoire, ajoutons que les appartements en question couvrent 400 m² et sont destinés... au directeur ! Autre disparition à porter au passif de Le Verrier, celle des notices scientifiques de l'Annuaire du Bureau des Longitudes, dans lesquelles Arago exposait à un lectorat nombreux et fidèle l'état des connaissances sur les comètes, les étoiles filantes ou les influences de la Lune, par exemple.

C'en est trop pour Flammarion qui, devenu un vulgarisateur réputé, entame une croisade médiatique contre Le Verrier tandis que, parallèlement, la rébellion des astronomes humiliés est menée par E. Delaunay. Voici le por-

trait que celui-ci dresse de son ennemi déclaré :

L'intérêt de la science n'est rien pour lui. Tout cède devant son immense orgueil, devant le désir de grandir aux yeux de la foule le piédestal qu'on a élevé à sa personnalité (...) Les résultats de la haute position donnée à cet homme d'un caractère si infernal, sont vraiment effrayants : ceux-ci sont conduits au suicide, ceux-là sont rendus fous, d'autres torturés avec une ténacité sans pareille, un grand nombre de carrières brisées, et par dessus tout l'astronomie d'observation tuée en France, et pour longtemps, pendant qu'elle est en si grand honneur et en si grande prospérité partout, en Europe et en Amérique.

Où l'on voit que le harcèlement moral n'est pas une invention récente... La campagne porte ses fruits en 1870. Le Verrier est congédié et remplacé par Delaunay. Mais l'histoire connaît un tragique rebondissement puisque Delaunay disparaît deux ans plus tard dans un naufrage. Le Verrier est alors réintégré dans ses anciennes fonctions.

L'influence de Le Verrier sur le retard pris par l'astronomie française à partir des années 1860 n'est sans doute pas aussi déterminante que ses opposants le disent. D'où la nécessité, pour faire la part des choses, d'une biographie scientifique de ce personnage à double facette, savant génial et administrateur tyrannique. ■



Le site du CLEA et Eratosthène.

Peut-être avez-vous déjà pris des contacts avec un autre lycée pour réaliser en classe de seconde la fameuse expérience d'Eratosthène... Peut-être aussi êtes-vous à la recherche de partenaires...

Peut-être enfin pouvez-vous faire un peu de pub (de bouche à oreille ou sur votre site académique, ou sur votre site perso) pour la proposition suivante :

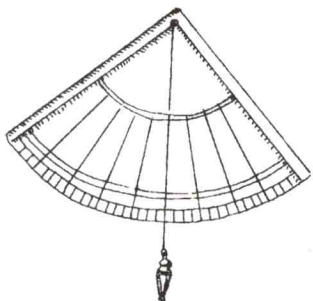
Le CLEA renouvelle cette année son "offre de services" en proposant un protocole expérimental particulièrement efficace que chacun peut réaliser sans investissement majeur (voir <http://www.ac-nice.fr/clea/erat2000.html>) autour de la date de l'équinoxe d'automne (disons du 15 au 30 septembre pour fixer les idées).

Les résultats que vous pourrez communiquer par mail au CLEA seront rapidement publiés sur le site et pourront servir à d'autres participants pour mesurer notre planète.

Vous trouverez également sur le site quelques résultats des années antérieures.

A très bientôt donc. Merci de votre collaboration.

Francis Berthomieu



Pensées sur la comète

Pierre Lerich

Le titre complet c'est : "Pensées DIVERSES sur la comète", ouvrage publié en 1682 par Pierre Bayle. On préfère souvent le titre abrégé, ce qui pourrait faire croire que le livre porte entièrement sur la comète, alors que celle-ci n'est qu'un point de départ et même un prétexte à toutes sortes de réflexions.

Dans les manuels d'histoire littéraire, on associe souvent Bayle à son contemporain Fontenelle, que les lecteurs des Cahiers Clairaut connaissent bien à cause des "Lectures pour la Marquise".

La comète dont il s'agit est celle de 1680. Elle fut superbe, très brillante, bien plus belle que celle de Halley (1682), ornée d'une chevelure longue de 60 degrés. Elle suscita l'admiration des foules (malgré une certaine inquiétude), ainsi qu'une intense activité des libraires et des imprimeurs. La quasi-totalité des ouvrages publiés dénonçait les anciennes superstitions relatives aux comètes.

Un seul de ces ouvrages a survécu, c'est celui de Bayle, parce qu'il visait beaucoup plus loin. A partir des superstitions populaires, Bayle posait la question de l'origine des opinions : comment elles naissent, comment elles se répandent, comment elles se fortifient, comment elles deviennent dominatrices et finalement redoutables. On était en pleine persécution des protestants, on sentait venir la Révocation de l'Edit de Nantes (1685). Des milliers de protestants se préparaient à l'exil, ainsi que divers suspects : le soupçon d'athéisme était encore plus grave que le protestantisme avoué, et Bayle voulait justement montrer qu'un athée n'était pas forcément un danger pour la société.

C'était cela le vrai sujet des "Pensées sur la Comète" : un appel à l'esprit critique et à la tolérance religieuse, qui malheureusement ne fut pas entendu : Bayle lui-même dut s'expatrier en Hollande et devint "le Philosophe de Rotterdam".

Depuis la plus lointaine antiquité, pendant que le peuple s'effrayait des comètes et prévoyait divers malheurs (toujours les mêmes : peste, famine, etc ...), les astrologues étudiaient la chose beaucoup plus sérieusement et en détail, en tenant compte notamment des signes et des constellations dans lesquels la comète passait. Par exemple; si elle passait dans le Taureau, on pouvait prévoir des maladies dans les bêtes à cornes, ce qui paraît évident. Bayle ne pouvait donc pas parler de comètes sans parler d'astrologie.

Les 26 pages qu'il consacre à ce sujet sont intéressantes parce qu'elles donnent une idée de ce qu'un homme cultivé mais non spécialiste pouvait penser de l'astrologie avant même le siècle des lumières et la Grande Encyclopédie.

"Il n'y a jamais eu rien de plus impertinent, de plus chimérique que l'astrologie", écrit-il : "c'est la honte de la nature humaine qu'il existe des hommes assez fourbes pour s'en servir, et d'autres assez sots pour y croire". Puisant dans son immense culture, Bayle parcourt les pays et les époques (jusqu'aux Indes et en Chine) pour montrer par d'innombrables anecdotes que le pouvoir a toujours été le principal client des astrologues. Selon lui, des hommes dévorés d'ambition et toujours plus ou moins obsédés par les intrigues et les complots sont réceptifs à toutes les formes de charlatanisme. C'est la plus brillante réussite pour un (ou une) astrologue, de devenir le conseiller d'un roi (ou d'un président). C'est aussi l'assurance d'augmenter sa clientèle par effet d'imitation et de snobisme : quand l'exemple vient d'en haut, tout est permis.

Bayle ne cherche pas d'argument très scientifique pour réfuter l'astrologie. Pour lui, elle ne mérite simplement pas d'être prise au sérieux, n'étant "ni démontrée ni plausible".

Cette belle formule nous invite à distinguer quatre cas dans les énoncés de nature scientifique :

- Démonstré et plausible : on admet.
- Démonstré bien que non plausible. C'est un paradoxe, par exemple le fameux voyageur de Langevin, qui vieillit moins vite que les sédentaires.
- Non démontré mais plausible : on attend. Par exemple la vie sur d'autres planètes.
- Ni démontré, ni plausible : on écarte résolument. C'est le cas de l'astrologie.

Est-il plausible qu'un astre quelconque, "éloigné peut-être de trente millions de lieues" (120 millions de km), qui ne peut que renvoyer une infime partie de la lumière et de la chaleur du Soleil puisse exercer une influence sur les événements de notre vie ? Quelle pourrait être cette influence ? faut-il être très savant en astronomie pour constater que le point de départ de toute l'astrologie, c'est l'arbitraire dans l'interprétation des dessins ambigus formés par les étoiles ? Par exemple une certaine constellation rappelle vague-

ment un bête à quatre pattes dessinée par un enfant. Mais pourquoi un lion plutôt qu'un mouton ? Pourquoi un taureau plutôt qu'une chèvre ? Le caprice d'un instant devient une vérité éternelle commentée pendant des siècles : si on avait choisi le mouton, les actuels natifs du Lion auraient été déclarés timides, passifs, conformistes, etc ...

C'est tellement absurde de prendre au sérieux ces "extravagances" que Bayle se demande comment des auteurs comme Gassendi ou le comte de la Mirandole ont pu perdre leur temps à réfuter de telles folies. Comble de l'absurdité : les astrologues continuent d'appeler "Lion" un rectangle du ciel que la constellation du même nom a quitté depuis vingt siècles, ce morceau du ciel étant occupé en 1680 par le Cancer. L'explication physique du phénomène était sur le point d'apparaître (Newton 1687).

A cette objection fondamentale, un astrologue de 2001 répondrait que ce ne sont pas les étoiles qui comptent, mais que c'est la saison. par exemple Bélier = printemps, parce que la position du Soleil au printemps définit le Bélier. Comme dit une astrologue bien connue à la télévision : "l'homme est un être de saison". Admettons, mais alors pour un natif de l'hémisphère sud, Bélier = automne ? Donc, pas du tout le même caractère, pas du tout impulsif mais plutôt hésitant ... Comment sortir de cette incohérence ?

Le plus triste, pour un lecteur moderne, c'est l'anecdote de ce roi de Perse qui en 1667 organisa une conférence entre ses médecins et ses astrologues pour rétablir sa santé. Bayle observe ; quel beau sujet pour Molière. "Combien de railleries n'eût-il pas imaginé en voyant la médecine appeler l'astrologie à son secours !"

Eh bien, nous y sommes. On a pu voir à la télévision des médecins déclarer sérieusement qu'ils posent leur diagnostic beaucoup plus vite que leurs confrères simplement en consultant les astres. Et le public applaudit, il en redemande. Malheur à celui qui oserait soulever une timide objection, ou simplement demander quelques preuves. Molière aujourd'hui choisirait un autre

sujet moins provocateur.

Même des scientifiques sérieux, quand ils participent à quelque ouvrage collectif en relation avec l'astrologie adoptent un ton prudent et diplomatique, parfois même conciliant.

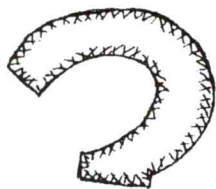
Contrairement à l'astronomie, l'astrologie ne peut pas progresser, puisqu'elle s'appuie entièrement sur la Tradition. Toute la description technique qu'en donne Bayle (ascendant, maisons, signes, aspects) reste aujourd'hui inchangée. Mais comme en matière d'astrologie, Ptolémée invoquait déjà la Tradition, les anciens, etc ... il s'ensuit que personne n'a jamais fait autre chose que répéter ce que disait le précédent, et ceci depuis la nuit des temps.

Telle est la conclusion de Bayle, qui était déjà celle de Kepler : le grand nombre des adeptes dans toutes les époques ne prouve strictement rien en faveur de l'astrologie ni d'aucune autre doctrine. C'est là le principal "message" de Bayle, confirmé par Descartes, repris ensuite par Voltaire et par l'Encyclopédie. Chacun répète, personne n'examine sérieusement. Au delà d'un certain nombre d'adeptes et d'une certaine ancienneté, il devient difficile de contester sans avoir l'air arrogant, prétentieux et même ridicule.

Reconnaissons cependant que si au lieu du Lion, du Capricorne, des Poissons, etc ... , les premiers gourous des temps anciens avaient vu l'âne, la grenouille, la limace... et autres animaux défavorisés, toute l'histoire de l'humanité eût été fort différente. Qui oserait déclarer en société ; "moi je suis limace ascendant grenouille" ?

A lire :

- Bayle : "pensées diverses sur la comète" Société des Textes Français Modernes, 1984.
- G. Simon : "Kepler astronome astrologue" Gallimard 1979.
- M. Grenet : "La passion des astres au XVII^e siècle" Hachette 1984.



Diffuser la science : quels objectifs, quelles méthodes ?

Réflexions à partir de
l'astrophysique

Lucienne Gouguenheim

L'Académie des sciences vient d'honorer le CLEA¹ : elle a décerné conjointement à Gilbert et Lucienne son prix "Paul Doisteau-Emile Blutet" et leur a demandé de donner une conférence le 24 septembre 2001.

En voici le texte, où Lucienne propose une réflexion sur la complexité de la science et de sa diffusion. Grande, peut-être parce que sécurisante, est la tentation pour un scientifique, un enseignant, un journaliste, un citoyen, d'extrapoler abusivement le domaine de portée d'une loi. En montrant comment, dans notre société, une perception superficielle des idées scientifiques peut tenir lieu de pensée collective et justifier des pratiques sociales discutables, Lucienne fait apparaître combien l'enseignement scientifique pour tous les élèves est essentiel.

Dans ce vaste projet d'éducation, le CLEA aura encore son mot à dire.

A travers Gilbert Walusinski et moi-même, l'Académie des Sciences honore notre association, le Comité de Liaison Enseignants et Astronomes (CLEA), et, symboliquement, l'Enseignant et l'Astronome que nous sommes respectivement lui et moi ! Nous avons réfléchi ensemble à ce que nous avons à cœur de vous dire de cette grande aventure qui a démarré il y a un peu plus de 20 ans. Elle nous a fait découvrir la fécondité des rencontres entre spécialistes de l'astronomie-astrophysique et éducateurs et en particulier l'importance des contacts et des échanges que les enseignants de diverses disciplines et de différents niveaux d'enseignement ont pu avoir

entre eux, spécialement à l'occasion des universités d'été. Notre réflexion a pu aussi s'élargir à l'enseignement scientifique européen grâce à la coopération de collègues d'Allemagne, de Belgique, d'Espagne, de Pologne, de Suisse, que nous avons rencontrés, avec qui nous avons partagé des expériences et des documents. Je conserve un souvenir particulièrement vif de l'intensité des échanges, au cours d'une université d'été, à l'occasion d'un exposé de didactique de l'astronomie, fait en anglais par l'israélien Yossi Nussbaum et traduit en français par notre amie polonaise, Cécilia Iwaniszewska.

Mais plutôt que de retracer l'histoire du CLEA, je voudrais aujourd'hui, à la lumière de cette longue et riche expérience, illustrer en quoi l'enseignement scientifique - destiné à un large public d'élèves, et non à la seule formation des futurs étudiants scientifiques - semble plus que jamais essentiel, en réfléchissant dans un premier temps sur la façon d'aborder la complexité. Dans un second temps, je voudrais souligner que la science contribue à notre façon de "penser le monde" ; que l'ensemble de notre société est imprégnée de modes et de structure de pensée façonnés par la science - et qu'on qualifie parfois de "scientifiques" - mais qui ne sont pas dépourvus de préjugés philosophiques ou sociaux.

La complexité

Nous avons choisi de donner le nom de Cahiers Clairaut à la publication trimestrielle du CLEA. Parce que Gilbert Walusinski nous avait rappelé cette citation du célèbre mathématicien, dans la préface de ses *Éléments de Géométrie* (1741) : "J'ai pensé que cette science, comme toutes les autres, devait s'être formée par degrés ; que c'était vraisemblablement quelque besoin qui avait fait faire les premiers pas et que ces premiers pas ne pouvaient pas être hors de la portée des Commençans, puisque c'étaient les Commençans qui les avaient faits".

Suivre la démarche historique peut être une bonne façon d'appréhender la complexité grandissante.

J'ai été particulièrement impressionnée par une remarque de Claude Lévi-Strauss, dans son avant-propos de "Histoire de Lynx" en 1991, où il soutenait que "le dialogue avec la science réactualise la pensée mythique, parce qu'elle sert de médiation entre les découvertes scientifiques et l'homme de la rue, incapable de comprendre de telles découvertes de l'intérieur et réduit par là-même à les percevoir seulement sous la forme d'un monde imaginaire, paradoxal et déroutant qui présente à nos yeux les mêmes propriétés que celui des mythes."

Il ne peut être question aujourd'hui de donner à quiconque la somme des connaissances accumulées dans chacune de nos disciplines ; ni même de faire comprendre l'importance réelle d'une découverte particulière qui s'inscrit dans un processus d'élucidation à la fois long et complexe.

Cela, malgré le souhait que peut en faire tel ou tel spécialiste. Et surtout, malgré le goût du sensationnel, associé à une nécessité impérieuse de simplification, que véhiculent nos médias. Qui d'entre nous n'a été confronté au problème insoluble que nous posaient des journalistes, généralement dans l'urgence : expliquer en quelques courtes phrases, avec des mots et des concepts accessibles à tous, la "grande découverte" dont les agences de presse venaient de diffuser la nouvelle ? La façon trop simplifiée dont les résultats de la recherche sont généralement présentés dans les médias leur fait perdre à peu près toute signification. Elle expose en effet un résultat isolé, considéré comme spectaculaire, sans faire percevoir la complexité du problème global qui dépend d'un grand nombre de paramètres, ni comment, pas à pas, on peut la vaincre. L'écart s'accroît entre le développement des connaissances et la perception qu'en a le non-spécialiste, à qui le monde apparaît de plus en plus opaque, trop complexe, et le changement de ce que nous en savons trop rapide. La tentation est alors de fuir le champ du rationnel, ou de se réfugier dans des certitudes intemporelles.

La complexité est la caractéristique essentielle des problèmes que les chercheurs scientifiques s'attachent à résoudre dans leur activité professionnelle mais aussi de ceux que tout citoyen rencontre dans la vie courante. Il revient à l'enseignement scientifique de montrer que, si l'on ne peut l'éviter, il est possible de la surmonter, en inculquant la méthodologie scientifique. Elle repose sur l'évaluation des paramètres qui entrent en jeu et de leur importance relative ; sur l'utilisation de modèles qui s'affinent ; elle marque les limites des connaissances et la diversité des degrés de certitude.

Bien entendu, l'enseignement d'une méthodologie ne peut se passer d'un

support de connaissances. Le CLEA est né de cette constatation que l'astronomie, autant par son objet que ses méthodes propres et l'intérêt qu'elle suscite, est particulièrement bien adaptée à cet objectif. Je vais l'illustrer par une expérience à laquelle je participe depuis une dizaine d'années. En collaboration avec le Centre National d'Enseignement à Distance (CNED), Michèle Gerbaldi, Lucette Bottinelli et moi-même, avons créé en 1992 une formation à distance, intitulée Formation de base en Astronomie - Astrophysique, ayant pour objectif essentiel de fournir un outil intellectuel d'analyse de situations et de démarche. Elle fait référence à l'histoire, traite des moyens d'observation et des lois physiques essentielles et replace les astres et l'Univers lui-même dans leurs relations mutuelles et dans un cadre évolutif. Cet enseignement, ouvert à tout bachelier, scientifique ou non, répond à un souci de formation générale.

Celle-ci acquise, se pose la question des relations avec la science actuelle. J'aborde ici le grand débat de savoir quoi enseigner : une science ancienne, pour la raison qu'elle fait appel à des connaissances plus faciles à acquérir, plus directement liée à notre expérience sensible, ou une science à la pointe de la recherche actuelle généralement plus complexe, plus abstraite, plus éloignée de notre perception directe. Une seconde formation a donc été créée en 1998, dans la perspective de montrer comment se construit la connaissance dans sa complexité. Les connaissances acquises dans la première formation sont utilisées pour mener l'étude d'un problème spécifique, de grande actualité et particulièrement complexe : celui de la détermination de l'âge de l'Univers à partir de deux approches différentes, la cosmologie et l'âge des plus vieilles étoiles connues. De nombreux paramètres sont en jeu ; il s'agit de les découvrir et de cerner leur importance relative. Ces travaux sont essentiellement l'oeuvre de deux communautés d'astrophysiciens. La première communauté est celle des cosmologistes qui modélisent l'évolution de l'Univers en s'appuyant sur la théorie de la gravitation d'Einstein. Cette modélisation fait intervenir des para-

mètres "libres", dont la valeur est contrainte par l'observation : ce sont eux qui permettent de déterminer ce qu'on appelle l'âge de l'Univers. La seconde communauté est celle des spécialistes qui modélisent la structure des étoiles en s'appuyant sur un certain nombre de lois physiques. Cette modélisation permet de décrire une évolution de l'étoile au cours du temps et donc de ses caractéristiques observables, telle que par exemple la puissance qu'elle rayonne. C'est en comparant les valeurs observées de ces grandeurs aux prédictions, qu'ils fixent l'âge de l'étoile et plus particulièrement celui des plus vieilles d'entre elles.

Obtenir pour l'Univers, comme la grande presse s'en est faite l'écho, un âge plus faible que celui obtenu pour les étoiles les plus vieilles, traduit la mise en défaut de l'une ou l'autre de ces deux déterminations, ou d'une évaluation trop optimiste des incertitudes sur chacune des déterminations, qui les rend incompatibles.

**D'un monde régi par un
mécanisme d'horlogerie
à un Univers en perpétuelle
évolution
ou du danger d'extrapoler le
domaine de portée d'une loi.**

Je voudrais illustrer maintenant le danger qu'il y a à extrapoler le domaine de portée d'une loi, en montrant comment nous sommes passés d'un monde régi par un mécanisme d'horlogerie à un Univers en perpétuelle évolution.

La découverte de la loi de la gravitation universelle par Newton, en 1687, donna la clé de la compréhension d'un monde vu comme une simple mécanique. Fondée sur le principe du déterminisme et reposant sur l'expérience, la mécanique newtonienne a rencontré d'incontestables succès. Un sommet de cette période est la découverte en 1846 de la planète Neptune, à partir des calculs de Le Verrier fondés sur l'observation du mouvement d'Uranus et l'interprétation de ce mouvement à partir de la loi de la gravitation universelle de Newton : Uranus subissait l'attraction

d'une planète inconnue dont Le Verrier avait déterminé la position et que Galle découvrit effectivement en pointant son télescope dans la direction indiquée. Ce fut un immense triomphe de la loi de Newton, que validerait à nouveau aujourd'hui - si besoin était - l'extraordinaire précision des tirs balistiques d'envois de sondes spatiales dans le système solaire.

L'enthousiasme devant l'universalité de la loi de Newton conduisit à étendre cette vision "horlogère", qui se caractérise par un état d'équilibre constamment maintenu, à l'ensemble du monde : de l'organisation de la vie aux structures sociales. Il resterait tel qu'aux premiers jours, comportant par exemple toujours les mêmes espèces vivantes, inchangées. Cette vision correspondait bien par ailleurs à l'expérience quotidienne des hommes du 19^e siècle : rien dans leur activité ne paraissait pouvoir modifier le fonctionnement des mécanismes naturels. Chaque être humain laissait en mourant le monde dans l'état où il l'avait trouvé à sa naissance. Nous sommes encore largement imprégnés de cette vision : les théories économiques telles qu'on nous les présente aujourd'hui ont encore très souvent conservé cette hypothèse implicite (et dépassée) de retour obligé vers un état d'équilibre : les forces du marché fixeraient, grâce à la concurrence, les prix optimaux par l'ajustement de l'offre et de la demande. Il y eut cependant dès le 18^e siècle quelques sceptiques, tel Diderot qui doutait que la vie ait pu naître d'un système répétitif.

Au cours de ce même 19^e siècle, la découverte de l'énergie et de ses modes de transformations - à partir de la machine à vapeur de Carnot - a fondamentalement changé la vision du monde. La description du système solaire ne se réduit pas à celle d'un ensemble de planètes tournant éternellement sur leurs orbites autour du Soleil. Le Soleil nous éclaire et nous chauffe par son rayonnement. Cette énergie rayonnée par le Soleil a aussi constitué les énergies fossiles, charbon et pétrole, que nous utilisons. La source de l'énergie solaire n'est pas éternelle. On sait depuis les années 1920 que le Soleil perd chaque seconde quatre

milliards de kilogrammes qu'il transforme en énergie selon la célèbre formule d'Einstein. Compte tenu de l'énormité de sa masse, cela lui confère tout de même une "espérance de vie" de l'ordre de dix milliards d'années. On sait maintenant que les planètes - même inhabitées - subissent aussi une évolution.

Nous sommes acquis aujourd'hui à l'idée que l'évolution est un phénomène tout à fait général : il concerne aussi bien les êtres vivants, que les astres ou l'Univers lui-même. Son concept s'est imposé à notre mode de pensée et a disqualifié la vision purement horlogère. A son tour, il a influencé d'autres domaines de la pensée. On remarque souvent que la théorie de l'évolution de Darwin, qui repose sur la loi de survie du plus apte, était particulièrement bien adaptée à l'esprit de l'ère industrielle. Celle-ci, cédant à une tentation similaire à celle des "mécaniciens" d'extrapoler le domaine de portée d'une loi de la nature, aurait érigé la découverte de Darwin en loi universelle, justifiant une pratique sociale inégalitaire.

Dans la même perspective, nous devrions, me semble-t-il, réfléchir aujourd'hui à la façon dont les découvertes effectuées dans le domaine génétique influencent notre société, en confortant des modes de comportement individualistes liés à des choix de société qui sont de nature politique ou économique. D'une certaine façon, la solidarité qui est à la base de l'ensemble de la protection sociale est battue en brèche par des arguments de type fataliste.

Un exemple est celui de la tuberculose, parfois qualifiée de "maladie génétique". Cette assertion s'appuie sur le fait, scientifiquement établi, que des différences de nature génétique se manifestent d'une part sur la virulence des souches de bacilles de Koch, et d'autre part sur la réceptivité des êtres humains en présence du bacille. Il n'en reste pas moins que l'on ne saurait oublier que la tuberculose demeure une maladie infectieuse et contagieuse. Ce qui implique un traitement médical (la maladie a été presque totalement éradiquée à la suite de la découverte des

antibiotiques) et une prévention (l'amélioration des conditions sanitaires avait déjà contribué à une diminution considérable du fléau au moment de la découverte du BCG et des traitements). La découverte de l'influence de la composante génétique ne saurait être utilisée pour justifier "scientifiquement" le moindre relâchement dans le domaine de la santé publique.

Vers de nouvelles visions du monde et de nouvelles difficultés.

Ma dernière réflexion porte sur les nouvelles difficultés que rencontre la diffusion de la science, et de la vision renouvelée qu'elle nous donne du monde.

Les découvertes de la physique actuelle qui portent sur les échelles microscopique (l'atome et les particules élémentaires qui le composent) ou au contraire macroscopique (l'Univers) constituent un événement majeur dans l'histoire de la pensée humaine. Les phénomènes qui se produisent à ces échelles inaccessibles à nos sens obéissent à des lois et à une logique totalement différentes de celles de l'échelle de la vie quotidienne. Des propriétés contradictoires peuvent coexister. Il n'est pas possible d'y effectuer des mesures impartiales : l'observateur agit nécessairement sur ce qu'il mesure. Le temps et l'espace s'y comportent différemment. Le statut même de la méthode expérimentale est remis en cause. Cette conception de l'existence de différents "niveaux de réalité"

correspondant aux différentes échelles, humaine, microscopique ou macroscopique, porte un éclairage nouveau sur la complexité du monde. Et aussi sur la capacité de l'intelligence humaine à l'appréhender.

Peut-on la faire partager ? Autrement qu'en justifiant la terrible constatation de Lévi-Strauss, à laquelle je faisais allusion en commençant ? Peut-on enseigner autre chose que ce que Michel Hulin appelait une "protophysique" ?

La seule piste que je connaisse devant cette interrogation à laquelle je n'ai en fait pas de réponse, repose sur l'explicitation de la notion du modèle que l'on utilise pour faire percevoir un concept ou une situation.

Un exemple est celui des modèles utilisés pour illustrer l'expansion de l'Univers, à savoir ce concept difficile d'un Univers dans lequel les galaxies sont au repos et où, néanmoins, leurs distances mutuelles augmentent au cours du temps.

Certains utilisent un élastique, sur lequel sont cousus des boutons régulièrement espacés et que l'on tend. Le modèle, où les galaxies sont représentées par des boutons, dans un univers à une seule dimension, sert à illustrer le phénomène que je viens précisément d'énoncer, mais il n'a pas pour but d'expliquer qui "tire sur l'élastique". Un autre modèle utilise l'analogie des galaxies fixes dans un univers en expansion par l'image de grains de raisins dans un cake en train de gonfler dans un four ; le modèle se limite à l'intérieur du cake et ne tient pas compte du milieu dans lequel le cake se gonfle.

Il me semble que l'on pourrait peut-être faire comprendre le rôle et les limites du modèle en menant la réflexion à partir de modèles utilisés pour illustrer des phénomènes plus simples et directement accessibles à l'observation, comme par exemple un modèle "à l'échelle" du système solaire destiné à illustrer l'échelle de leurs distances ou celle de leurs dimensions ; ou encore le mouvement apparent des planètes.

Note :

Le justificatif rédigé par l'Académie est le suivant :

"Lucienne Gouguenheim, Professeur à l'Université Paris-Sud à Orsay et Gilbert Walusinski, ancien secrétaire général de l'APMEP, ont, ensemble, il y a une vingtaine d'années, créé le CLEA (Comité de Liaison Enseignants et Astronomes), qu'ils n'ont cessé d'animer. Cette création et cette animation exemplaires ont fédéré des enseignants de toutes disciplines et des astronomes, autour de l'astronomie, cette discipline qui figure mal dans les cursus scolaires, mais qui a un impact profond sur les jeunes. Les actions de CLEA sont multiples : Cahiers Clairaut, page Web, CDRom, pochettes de diapositives, transparents, maquettes, écoles et universités d'été. Les cahiers Clairaut, et les divers matériels pédagogiques en français, anglais, espagnol, ont touché plus de cent mille enfants, à travers leurs enseignants. L'influence internationale du CLEA en a étendu l'action bien au delà de nos frontières."



Inscription à la 6^e Université d'été de l'EAAE (2^e semaine de juillet 2002, en Laponie).

Cette Université d'été est reconnue et donc subventionnée par la Commission Européenne. Cela entraîne que la Communauté Européenne prend en charge tous les frais d'inscription, d'hébergement et de transport des participants.

L'Université d'été décrite dans le : Catalogue des formations non linguistiques et linguistiques de la Commission Européenne, rubrique : Sciences, paragraphe : mathématiques, chimie, physique.

Ce catalogue est disponible dans les établissements scolaires fin décembre-début janvier, consultable sur le site de la Commission Européenne : <http://europa.eu.int/comm/education/socrates/comenius/cat2001-2002/fr.htm/>. Le plan Comenius et le formulaire de candidature seront disponibles sur le site de l'agence française Socrates : <http://www.socrates-france.org> ou dans les DARIC, aux rectorats d'académie. Pour chaque formation, les candidatures des différentes académies sont examinées et validées ou non par l'Agence Socrates à Bordeaux. Les délais d'inscription sont en général très courts car la procédure d'agrément est longue. Il faut donc s'inscrire d'urgence dès que le catalogue est paru !



Les saisons La science au péril de sa vie

Les saisons et les mouvements de la Terre.

Pierre Causeret et Liliane Sarrazin
préface de Lucienne Gouguenheim,
éd. Belin. pour la Science ; 128 pages,
111F, 16,92 euros.

Il est inutile de présenter les auteurs, bien connus des lecteurs des Cahiers. Liliane a travaillé de nombreuses années en IUFM et a écrit de beaux articles sur le primaire. Quant à Pierre, il nourrit régulièrement la rubrique "avec nos élèves" tout en nous proposant à chaque numéro un nouveau et astucieux "Remue-méninges".

Nous ne sommes donc pas surpris de trouver dans ce livre l'association de rigueur et d'imagination à laquelle nous ont habitués nos collègues.

Comme le dit Lucienne, dans sa préface, cet ouvrage est "sans équivalent". En effet non seulement il donne une description progressive et complète des saisons mais il illustre superbement la démarche expérimentale.

Intéressant pour le grand public, c'est un outil essentiel pour l'enseignant qui y trouvera des idées pour répondre précisément aux questions des élèves de tous niveaux.

Agrémenté de nombreux schémas très clairs et de photos, le livre est constitué de deux grandes parties : observation et mécanismes des saisons et comprendre les saisons par l'expérimentation.

Observation et mécanismes des saisons.

La démarche est simple, naturelle et progressive : on part de l'observation du Soleil et des étoiles, qui s'explique par les mouvements de la Terre autour d'elle-même et du Soleil. On peut alors faire comprendre le mécanisme des saisons, ce qui fait l'objet du chapitre 3 très détaillé. Dans le cadre du modèle simplifié des mouvements circulaires et uniformes de la Terre sur elle-même et autour du Soleil, les auteurs expliquent les saisons et climats

dans le monde, à l'aide de nombreux schémas appropriés. Le chapitre 4 apporte des compléments et des précisions au modèle simplifié utilisé dans le chapitre précédent. On y trouve une description plus précise des paramètres orbitaux de la Terre (excentricité, obliquité), et de leur variation sur de longues périodes ; on y traite de l'influence de la réfraction atmosphérique sur la durée du jour. Enfin, des preuves des mouvements de la Terre sont explicitées. La description particulièrement limpide de l'expérience du pendule de Foucault mérite d'être signalée.

Comprendre les saisons par l'expérimentation.

Cette partie fourmille d'idées d'expériences à réaliser avec des élèves, dès le primaire. La description et l'utilisation du matériel CLEA y occupe une place importante mais pas exclusive.

Le chapitre 5 présente les premières expérimentations pour comprendre les mouvements de la Terre et les saisons. Différents moyens sont utilisés pour réaliser des observations et des simulations dans un repère géocentrique puis dans un repère héliocentrique (relevés d'ombres, exploitation des observations de la trajectoire du Soleil au cours de l'année et du mouvement apparent des étoiles, utilisation du parapluie des constellations, rondes). Il s'agit ici d'une approche globale.

Dans le chapitre 6 les auteurs proposent des méthodes pour observer les mouvements apparents : relevé d'ombres ; dispositif du saladier transparent pour matérialiser le mouvement du Soleil au cours de la journée (d'après une idée de Roland Szostak) ; utilisation du calendrier des Postes ou d'éphémérides. Puis ils décrivent des maquettes (la plupart à réaliser soi-même à peu de frais) pour comprendre : maquettes géocentriques animées ; maquette héliocentrique et globe spécial saisons dont Pierre nous a offert la primauté

dans le CC 81 (printemps 98). Enfin diverses expériences avec un globe terrestre sont explicitées.

Dans le chapitre 7 les auteurs proposent des expériences pour évaluer des luminosités et des températures avec des moyens fort divers et divertissants (lampes, globes, thermomètres mais aussi chocolat et peintures spéciales ...).

Enfin, dans le chapitre 8 sont présentées quatre méthodes de mesure du diamètre apparent du Soleil.

L'ouvrage comporte aussi une douzaine d'annexes fort utiles, une bibliographie et un glossaire.

Nos collègues, particulièrement soucieux de pédagogie, nous proposent même un test (avec réponses !), signalent les principales erreurs rencontrées dans les explications sur les saisons, et quelques exercices d'applications.

Pour conclure, je conseille vivement de se procurer ce bel outil pédagogique de référence, qui a sa place aussi bien dans une bibliothèque personnelle que dans un CDI.

Les remerciements, supprimés par l'éditeur par manque de place, soulignent le fort lien des auteurs avec le CLEA : "Merci à Annie Laval pour ses corrections, à Aleth pour sa patience, au CLEA pour ses idées, à J.M. Piriou de Météo France, au Bureau des Longitudes, à Roland Szostak, à Didier Guigue et à tous ceux qui ont bien voulu nous aider dans ce travail."

J'ai reçu, une fois que mon texte était écrit, une recension proposée par Annie Laval, qui exprime comme moi tout l'intérêt qu'elle porte à cet ouvrage et souligne sa qualité.

Martine Bobin.

La science au péril de sa vie. Les aventuriers de la mesure du monde.

Arkan Simaan.

Préface de Jean-Claude Pecker

Avant-propos de Jean Rosmorduc.

Vuibert/ADAPT, 206 pages, 19 euros.

Arkan Simaan, professeur de physique en lycée a déjà écrit, en 1998, en collaboration avec Joëlle Fontaine

"L'image du monde des babyloniens à Newton" dans la même collection. Cet ouvrage avait été recensé par Gilbert Walusinski (CC 86).

Ce livre, destiné à un large public a pour but de raconter les aventures de savants aventuriers, souvent méconnus, du XVIII^e siècle. Trois grandes séries d'aventures passionnantes sont racontées ici ayant pour but de mesurer la Terre, mesurer le ciel et établir le système métrique décimal.

L'auteur nous propose deux niveaux de lecture : c'est d'abord un récit d'aventures, captivant, qui s'attache à l'humanité des savants. Mais l'aspect scientifique n'est pas oublié. Dans de nombreux encarts, Arkan Simaan explique les raisons des expéditions, les méthodes de travail des savants et les résultats de leurs opérations.

L'objectif avoué est d'être compris par un large public et d'aider les enseignants à motiver leurs élèves pour les sciences. C'est dans ce but que les encadrés scientifiques sont volontairement écrits "sans formalisme mathématique". En tant que "prof de math" j'émettrai quelques réserves sur cette idée assez répandue qu'une (ou deux) formule(s) dans une explication scientifique peut rebuter un lecteur non scientifique ou un élève. D'une part, c'est croire au manque d'ouverture et de curiosité de ce lecteur, et d'autre part, une formule simple, bien choisie et explicitée évite souvent un discours laborieux et pas toujours rigoureux. Heureusement, les encadrés comportent des schémas explicatifs (qui auraient pu être plus nombreux) et aussi quelques formules.

Après un premier chapitre un peu schématique sur l'histoire de la mesure de la Terre de l'antiquité au XVIII^e siècle, l'auteur aborde le véritable sujet de son livre en trois grandes parties.

Mesurer la Terre.

L'auteur met en place le contexte justifiant les expéditions organisées pour régler la controverse sur la forme de la Terre : aplatie aux pôles comme le pensent les newtoniens (en particulier Maupertuis et Voltaire) aplatie à l'équateur pour les cartésiens (comme les Cassini et Fontenelle).

Suit une description passionnante

des expéditions au Pérou et en Laponie pour mesurer l'arc de méridien. On sent que l'auteur s'est enthousiasmé pour ces hommes capables d'aller risquer leur vie au bout du monde pour la science. La relation détaillée de leurs difficultés, de leur courage, de leurs ambitions, de leurs querelles les rend particulièrement humains.

Mesurer le Ciel.

Halley suscita une grande mobilisation à l'occasion du retour de la fameuse comète en 1759 (qui confirme la victoire de la théorie de Newton), et eut aussi l'idée de calculer la distance Terre-Soleil à partir du passage de Vénus. C'est Delisle qui mobilisa les savants pour transformer les passages de Vénus du 6 juin 1761 et du 3 juin 1769 en grandes rencontres internationales. Dans un encadré fort réussi, A Simaan propose une exploitation du prochain passage de Vénus en 2004 et explique les méthodes de Halley et de Delisle.

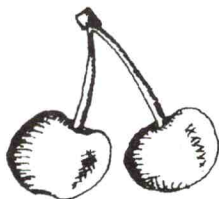
Les aventures des savants sont fantastiques ; rien ne leur est épargné : problèmes liés à la guerre, au mauvais temps, à la détermination insuffisamment précise des longitudes des lieux d'observation, au phénomène surnommé "goutte noire" (lié à l'atmosphère de Vénus). Le coût humain des expéditions est important, les résultats ne sont pas à la hauteur des espérances ...

Mesurer le mètre.

Les savants ont réussi à fonder le système métrique au milieu des troubles de la Révolution française. C'est une histoire extraordinaire dont l'auteur détaille pour notre plus grand plaisir les épisodes et les rebondissements.

L'ouvrage est largement illustré de documents historiques, muni d'un index et d'une bibliographie commentée. Ce livre sérieux, intéressant, et plaisant est un beau livre d'histoire des sciences à mettre entre toutes les mains. On peut l'utiliser en seconde (le programme de physique comporte un chapitre sur le Temps) et dans le cadre des TPE de Première S ("Temps, rythmes et périodes").

Martine Bobin. ■



5ème Ecole d'été de l'EAAE, du 2 au 7 juillet 2001

Josée Sert

Bad Honnef est une petite ville d'Allemagne, située sur le Rhin entre Cologne et Bonn. Elle possède un Physikzentrum dans une très belle bâtisse "Art nouveau" : c'est là qu'avec la coopération de la Société Allemande de Physique et de l'Université Polytechnique de Catalogne, le Groupe de Travail n°3 de l'EAAE a organisé sa 5^e "Summer School", sur le thème de l'Astronomie au 3^e millénaire. Rosa Maria Ros avait préparé le programme, l'organisation matérielle était assurée par Werner Warland et Joachim Wallash ; l'ESO et l'ESA ont apporté leur soutien financier et pour la première année, cette Ecole d'été avait été acceptée dans le cadre de programmes européens Socrates-Comenius, ce qui permettait aux participants dont le dossier était accepté d'avoir leurs frais de transport et d'hébergement pris en charge.

Trente-sept participants et une dizaine d'animateurs ont pu suivre des activités très variées, toujours très vivantes et laissant une large place à l'échange d'expériences et à la discussion :

- le premier jour, une conférence de Richard West de l'ESO, "Le VLT : technologie, science et éducation", présentait à la fois les premiers résultats d'observations, leurs conséquences scientifiques et l'intérêt qu'elles pouvaient présenter dans le domaine éducatif. Cet exposé évoquait en conclusion l'urgence qu'il y avait en Europe à orienter davantage de jeunes vers des études scientifiques vu les besoins en ce domaine et la diminution significative généralisée du nombre d'étudiants dans ces filières

- des ateliers sous des formes et sur des thèmes très divers étaient animés, en Anglais (mais toujours avec des traductions, simultanées ou particulières, en Français, Allemand, Italien...) par des animateurs de l'EAAE de plusieurs nationalités : sans pouvoir les citer tous, le pendule de Foucault "pour les écoles" de Roland Szostak (Allemagne), installé dans le salon de thé, l'âge de la Nébuleuse du Crabe, bien connue du CLEA, présenté par Frédéric Dahringer, l'étude de la forme des galaxies spirales à partir de photographies et de simulations par ordinateur par Rainer Gaitzsch (Allemagne), les planètes et la mesure du temps : la "semaine planétaire" de Leonarda Fucili (Italie), Micro et macrocosme par Irma Hannula (Finlande)...

- des observations de nuit animées par les élèves de Werner Warland et Joachim Wallash et à l'aide de caméras CCD

- un groupe de travail sur l'enseignement de l'As-

tronomie dans les différents pays européens et dans les livres scolaires

- une séance de présentation de "posters" proposés par les participants

- le samedi, un exposé de Norbert Junkes sur les développements de la radioastronomie et la visite du radiotélescope d'Effelsberg clôturait cette Ecole d'été.

Le parti pris de proposer beaucoup d'activités pratiques répond au besoin régulièrement exprimé par les participants : ceux-ci ne sont pour la plupart pas des débutants en Astronomie, et souhaitent essentiellement des activités qui leur permettent d'enrichir et de diversifier leurs pratiques pédagogiques. Le fait de manipuler, de découper, de coller... permet des échanges plus concrets au-delà des barrières linguistiques et une discussion plus facilement argumentée sur les différences dans les pratiques. La diversité des approches et des outils utilisés permet aussi d'approfondir les domaines qui intéressent plus particulièrement chacun-e, des temps "libres" étant aménagés à cet effet.

Cette Ecole d'été a aussi été l'occasion pour les membres de l'EAAE de se rencontrer et de réfléchir au devenir de l'association européenne. En dehors du Groupe de Travail n° 3 sur la formation des enseignants, qui tient régulièrement une Ecole d'été annuelle et qui se réunit pour les préparer, l'activité de l'EAAE consiste en l'organisation d'opérations comme "Astronomy On-Line", "Sea and Space", "Physics On Stage" et cette année "Life in Universe", en coopération avec l'ESO, l'ESA, le CERN. Mais les autres groupes de travail n'ont pu maintenir leurs activités en particulier parce qu'il est très difficile de trouver des fonds pour des réunions à l'échelle européenne.

La prochaine Assemblée Générale devrait se tenir au Printemps 2002 à Amsterdam et devra se poser la question de la mise en place d'une équipe capable de résoudre ces problèmes.

En tous cas, la 6^e Ecole d'été est déjà prévue pour la deuxième semaine de juillet 2002 en Finlande, autour de l'observation du Soleil. Toutes les personnes intéressées peuvent prendre contact avec Rosa Maria Ros (ros@mat.upc.es), Josée Sert (jsert@ac-toulouse.fr) ou Frédéric Dahringer (frederic.dahringer@wanadoo.fr), en particulier pour le programme. Pour les inscriptions et la possibilité de s'inscrire dans un programme européen voir l'encadré p. 37.

Documents pour les fiches CLEA BELIN

DCB : 20 exemplaires (70 F- 65 F)

Transparents animés pour rétroprojecteurs

(55F-50F)

T1 Le TransSoluTe
(phases de la Lune et éclipses)

T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

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

CD Rom CLEA 2000

Sciences physiques en seconde
Programme 2000 (50 F)

DIAPOSITIVES

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

- 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 35F-30F)
- D7** Taches solaires et rotation du Soleil
- D8** Comètes

Publications du CLEA

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



Chèques à l'ordre du CLEA

Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

- HS1** L'astronomie à l'école élémentaire
- HS2** La Lune niveau collège
- HS3** Le temps, les constellations, niveau lycée
- HS4** Astronomie en quatrième
(chaque HS 68F-48F)
- HS5** Gravitation et lumière, niveau terminale
(83F-63F)
- HS6** L'âge de la Nébuleuse du Crabe, niveau lycée,
avec 4 diapositives et 12 jeux de
2 photographies (110F-100F)
- HS7** Etude du spectre du Soleil
(58F-50F)
- HS8** Etoiles variables
(80F-70F)

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

Cours polycopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université
Paris XI Orsay

P1

Astrophysique générale (63F)

P2

Processus de rayonnement (30F)

P3

Structure interne
et évolution des étoiles (35F)

P4

Astrophysique solaire (35 F)

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2001

Cotisation simple au CLEA pour 2001	50 F
Abonnement simple aux CAHIERS CLAIRAUT n° 93 à 96	140 F

Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT ET cotisation au CLEA pour 2001	190 F
---	-------

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

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

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

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

Adresser adhésions,
abonnements ou commandes à

Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA **Annie Mercier**
Laboratoire d'astronomie, bât 470
Université de Paris Sud
91405 ORSAY Cedex
adresse électronique : annie.mercier@df.cso.u-psud.fr

Publications

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

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

Publication du planétarium de Strasbourg
 LSO. Catalogue des étoiles les plus brillantes :
 toutes les données disponibles du Centre des Données Stellaires de l'Observatoire
 de Strasbourg concernant 2 000 étoiles visibles à l'oeil nu (75 F)
 Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

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

dépôt légal : 1^{er} trimestre 1979
 numéro d'inscription CPPAP : 61660
 prix au numéro : 45F