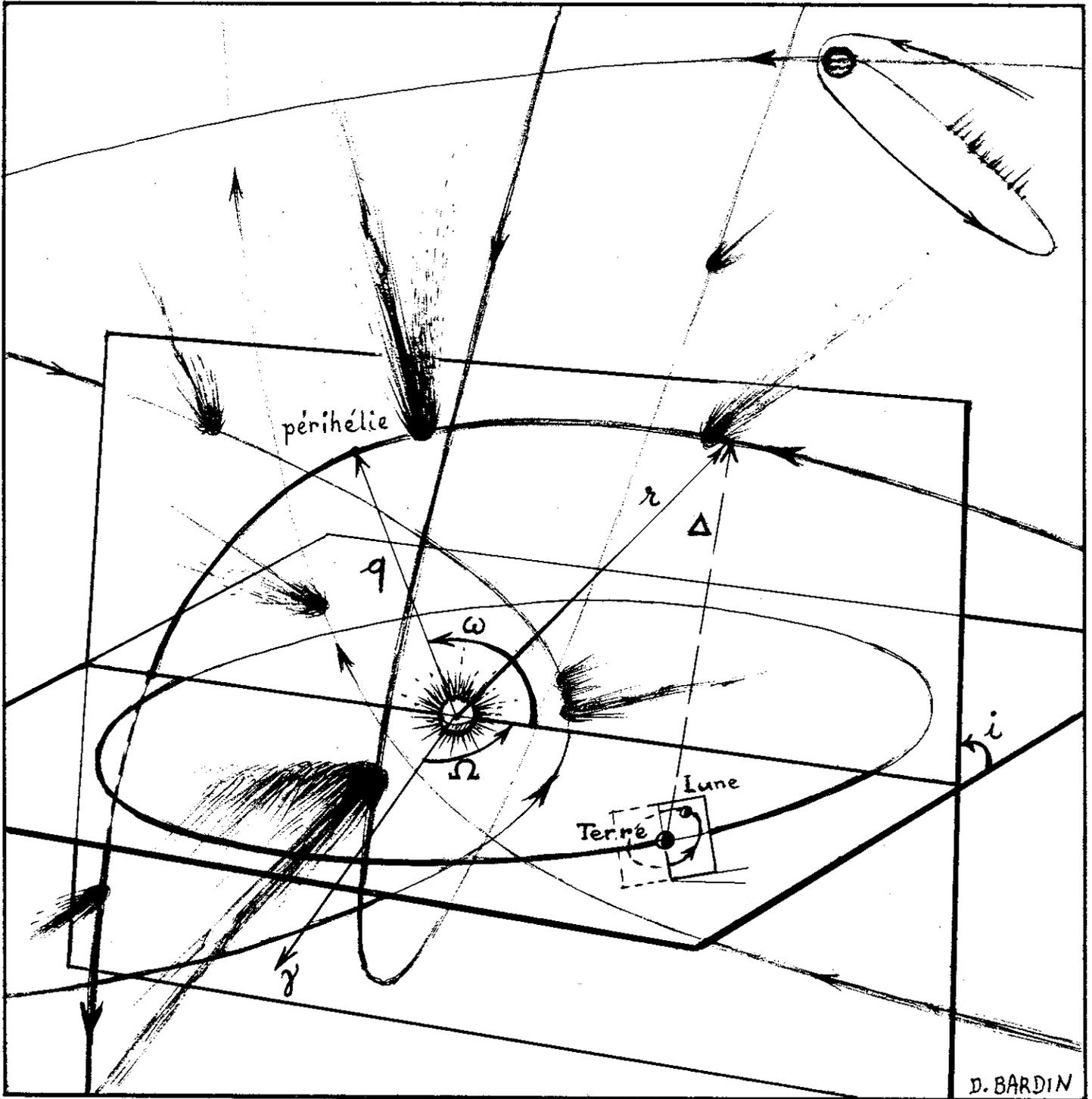


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



n° 77 - P R I N T E M P S 1997

ISSN 0758-234 X

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

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

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

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

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

Bureau du CLEA pour 1997

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

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

TRAVAUX du CRP à Cap (75,21)
LES TRES RICHES HEURES du duc de Berry (P.Perbost) (73,30)
VOIR les étoiles en plein jour (J.Vialle) (75,42)

LISTE ALPHABETIQUE DES TITRES DES OUVRAGES RECENSES

Le TITRE de l'ouvrage est suivi du nom de son Auteur et du couple (n° du Cahier, page)

LES APPRENTIS SORCIERS, M.Rival (76,31)
ASTRONYMIE, Le Boeuffle (74,40)
ASTRONOMIE ET ASTROPHYSIQUE, Seguin et Villeneuve (75,39)
CALENDRIERS ET CHRONOLOGIE, Parisot et Suagher (75,39)
SUR LE CHAOS, (75,38)
LE CHAOS, Ekeland (76,30)
CONTES ET LEGENDES ,DES ETOILES, Burillier (76,31)
CRATERS, Hartmann (74,31)
PIERRE CURIE, Hurvic (75,37)
ETUDE DE DIAMETRES SOLAIRES, Toulmonde (74,32)
LA FORMATION DE LA PRATIQUE SCIENTIFIQUE, Licoppe (74,32)
HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE, Delobbe (73,22)
HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE, Celnikier (75,40)
HUBBLE, Novilov et Sharov (74,30)
LE LIVRE DU CIEL- L'HOMME ET LES ETOILES, Heudier (74,30)
LA MATHEMATISATION DU REEL, Israël (74,32)
LES OREILLES DANS LES ETOILES, Boujenah, Kuntz et Lanzmann (73,22)
ROBERT OPPENHEIMER, Rival (73,22)
LA PHYSIQUE QUANTIQUE, Klein (76,32)
DES PLANETES AUX GALAXIES, Verdet, de Bergh (73,22)
LA PLUS BELLE HISTOIRE DU MONDE, Reeves, de Rosnay, Coppens (74,32)
LE QUARK ET LE JAGUAR, Gell-Mann (73,20)
LES SCIENCES DU CIEL, Léna (76,30)
LES SCIENCES AU LYCEE, Belhost, Gispert, Hulin (76,32)

RAPPEL DE QUELQUES ARTICLES PARUS DANS DES NUMEROS PLUS ANCIENS

ACKER Agnès : Les nébuleuses planétaires traceurs de l'évolution stellaire (72,02)
BALIBAR Françoise : La dualité onde-corpuscule (71,06)
BIRAUD François : Les pulsars millisecondes (60,02)
BRAHIC André : Le système solaire aujourd'hui ... (64,02)
HEIDMANN Jean : SETI et la bio astronomie (69,17) (70,10)
MARCHAT Claude : Cratère d'impact météoritique de Rochechouart (66,02)
SCHATZMAN Evry : La rotation des étoiles (53,02)
SZOSTAK Roland : Observation de la marche du Soleil au cours de la journée (58,07)

Renseignements sur le CLEA et sur ses publications :

Ecrire au secrétaire du CLEA :

Gilbert Walusinski
26 Bérengère
92210 SAINT CLOUD

LES CAHIERS CLAIRAUT

Printemps 1997

	page
Le vide est-il vraiment vide ?.....	2
Pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver ?	4
Pub télé et enseignement	9
Un rendez-vous à ne pas manquer ... Hale-Bopp.....	10
Le cadran solaire de Freeman.....	13
Lectures pour la Marquise	19
La mesure du temps (suite et fin)	24
Billard cosmique	26
Avant le 2 septembre 1976 de Grenoble.....	29
Etude des rétrogradations à l'aide d'un grapheur.....	30
Astronomy On Line : premier bilan	34
Où en est l'EAAE ?.....	36
Enseigner les sciences pour rendre libre	37
Chronique du CLEA.....	40

EDITORIAL

Nous ouvrons ce numéro avec un beau texte sur le vide, de Roland Szostak, notre ami de Münster. Ceux qui ont assisté à l'Université d'été de Gap-Bayard avaient beaucoup apprécié sa conférence ; Roland s'est donné la peine de la rédiger, et Christian Larcher a mis en forme pour les Cahiers cette première partie.

Fidèle à l'approche d'abord expérimentale - en évitant, au moins dans un premier temps le formalisme mathématique - Pierre Causeret propose une activité qui permet de répondre à la question : "pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver ?"

Il est grand temps de s'intéresser à la belle comète Hale-Bopp : Jean-Paul Rosenstiehl et Daniel Toussaint nous y ont déjà incités, lors de l'Assemblée Générale de novembre et dans la série de diapositives D8 ; Marie-Claude Paskoff nous donne ici tous les renseignements pratiques : merci à elle ! Merci aussi à Paul Perbost, qui nous décrit un cadran solaire indépendant de la latitude, à Frédéric Besson pour son article sur l'utilisation d'un grapheur, à Jacques Vialle qui prend Jules Verne en défaut.

Tout le monde sait que la construction de l'Europe est une entreprise difficile ... Josée Sert fait le point pour nous de la (modeste) construction de l'association qui veut développer l'éducation en astronomie (EAAE en "européen") et d'une première activité réalisée par cette association : "Astronomie sur la Ligne". Beaucoup de difficultés rencontrées, beaucoup de bonnes volontés aussi, et un bilan jugé en définitive positif, parce que l'expérience a permis de cerner en quoi INTERNET peut être un véritable outil pédagogique.

Nous pensons toujours à la préparation du numéro 80 : que les "anciens" n'hésitent pas à nous envoyer leurs témoignages !

La Rédaction

Le vide est-il vraiment vide ?
La physique quantique exotique de l'espace.
L'évolution historique des idées.

J'ai l'intention de vous parler du néant. Je pense qu'il ne faut pas parler de rien pendant les vacances. J'espère que vous aurez plaisir à suivre les arguments permettant de dire si le vide est rien ou quelque chose. A première vue il semble ridicule de discuter la question de savoir si le vide est vraiment vide ou pas. Si l'on pompe complètement les molécules contenues dans un récipient, on dira que le récipient est vide. Mais on admettra que l'on ne peut pas produire un vide total pour des raisons techniques. Dans les laboratoires on utilise des pompes qui permettent d'atteindre des pressions résiduelles de un millionième ou même un milliardième de la pression atmosphérique. Mais il est impossible d'enlever toutes les molécules. Dans la nature il existe un vide encore plus poussé, c'est celui qui existe dans l'espace intergalactique. Il est de l'ordre d'un atome par centimètre cube.

On pourrait imaginer que l'espace serait vraiment vide si l'on parvenait à retirer tous les atomes résiduels. Mais nous verrons que le vide de la physique moderne n'est pas vraiment vide même si l'on retire tous les atomes. A chaque époque de l'histoire des sciences on a dû remplir le vide à l'aide d'une sorte de matière.

Au début le vide n'existait pas pour l'homme. Il fallut l'inventer. A l'époque des Grecs on expliquait la diversité des substances à partir de 4 "éléments" : la terre, l'eau, l'air, et le feu. Chaque substance existante résultait d'une mixture de ces 4 "éléments".

Lors de ces débats la matière était conçue d'une manière continue. Seul Démocrite (-5^{es} aJC) proposait une structure discontinue formée d'atomes. Ces atomes peuvent entrer dans des combinaisons. Quand ils changent de combinaisons ils se séparent pour se réunir dans un autre arrangement. Pour cela ils doivent se mouvoir dans l'espace et cet espace n'est pas constitué de matière. Le vide résulte donc de l'hypothèse atomique. Platon proposait des combinaisons de structures géométriques à symétrie parfaite : le tétraèdre, l'hexaèdre, l'octaèdre, le dodécaèdre et l'isocaèdre. De plus pour répondre à des considérations astronomiques il inventa la "quintessence" appelée plus tard l'"éther".

Pour Aristote (-4^{es} aJC) la Terre se trouve naturellement au centre du monde. La sphère de la Terre est entourée par l'eau de l'océan. La surface de cette sphère est entourée par l'air de l'atmosphère. Au dessus de l'atmosphère se trouve la sphère du feu. La Terre a une place déterminée dans l'ordre des éléments, elle ne peut donc pas se mouvoir.

Sur Terre les mouvements naturels sont verticaux : une pierre lâchée sans impulsion tombe verticalement vers le bas. Des bulles d'air dans l'eau montent verticalement. Les planètes et les étoiles n'ont pas les mêmes caractéristiques que les éléments terrestres. Leur mouvement naturel est circulaire et éternel. Dans les sphères célestes séparées par l'éther, il n'existe pas de mouvements verticaux.

Pour Aristote il n'y a pas de place pour le vide. De plus le vide, c'est le néant, et le néant ne peut pas exister. Et si une particule se trouvait dans le vide elle ne serait pas reliée au monde, elle ne saurait pas comment se rendre à son lieu spécifique. Aristote en déduisait logiquement que les atomes n'existaient pas.

L'oeuvre d'Aristote domina la pensée humaine durant 2000 ans.

Au XVI^{ème} siècle, Copernic mit le soleil au centre du Monde en conservant l'éther char-

gé de porter les planètes. Pour Kepler, l'éther n'existait pas, les planètes se déplaçaient sur leur orbite dans le vide grâce à une "émanation" provenant du soleil.

Une autre interprétation fut donnée par le philosophe René Descartes. Celui-ci remarqua que lorsque l'on met des feuilles de thé dans une tasse contenant de l'eau, celles-ci tombent au fond mais que si l'on brasse circulairement le liquide les feuilles sont attirées vers le centre. Il fut ainsi conduit à proposer un modèle de tourbillon de l'éther qui attire les planètes vers le soleil.

Blaise Pascal avait observé que la pression de l'air diminue avec l'altitude. Il en déduisit que si l'on s'élevait suffisamment la pression deviendrait nulle. "Nous vivons au fond de l'océan de l'atmosphère" disait-il.

La notion de vide devint une réalité pour tous après la célèbre expérience des hémisphères de Magdebourg. Pour les séparer il fallut employer 16 chevaux.

Trois années plus tard, Newton inventait la théorie de la gravitation. Les forces de gravitation agissent entre les corps célestes dans l'espace vide. Newton établit aussi un modèle corpusculaire de la lumière.

A la même époque Augustin Fresnel proposait un modèle ondulatoire de la lumière, qui seul permettait d'expliquer les phénomènes d'interférences lumineuses. Mais les ondes pensait-il ont besoin d'un milieu pour se propager, voilà que de nouveau l'espace n'est plus vide. L'éther n'est pas mort.

Cependant cette substance a des propriétés étranges, elle devrait être plus rigide que l'acier pour permettre le déplacement très rapide de la lumière mais permettre aux astres de se déplacer librement.

La notion d'éther disparaît enfin au début du XXème siècle après les expériences interférométriques de Michelson et Morey. L'espace redevient vide.

Quelque temps après, Albert Einstein découvre l'invariance de la célérité de la lumière puis la relation entre masse et énergie que traduit la relation $E = mc^2$. La lumière possède de l'énergie. Cette énergie est équivalente à une masse donc l'espace n'est pas vide.

Pour obtenir vraiment le vide il faudrait dans l'espace supprimer la lumière en prenant une boîte noire dont la température serait celle du zéro absolu.

Ici se termine l'histoire du vide classique maintenant commence l'histoire du vide dans la physique moderne. En mécanique quantique l'état de plus basse énergie n'est pas zéro mais $E_0 = \hbar/2$. Il n'est pas possible de supprimer cette énergie résiduelle, elle résulte de la relation d'incertitude de Heisenberg ; il y a des fluctuations perpétuelles qui ne peuvent être éliminées. Ces fluctuations existent même si toutes les particules et toutes les radiations sont supprimées de la boîte noire.

On doit renouveler la définition du vide. Le vide contient encore un demi quantum d'action. Le vide est l'état de plus basse énergie possible. Mais comment obtenir l'évidence de l'existence de ce vide?

(à suivre...) Roland Szostak

Note de la Rédaction : Nous remercions notre ami Roland d'avoir rédigé à l'intention des lecteurs des Cahiers (et qui plus est en Français !) le texte de la conférence qui avait enthousiasmée les heureux participants de l'Université d'été. Merci aussi à Christian Larcher pour sa relecture soigneuse.

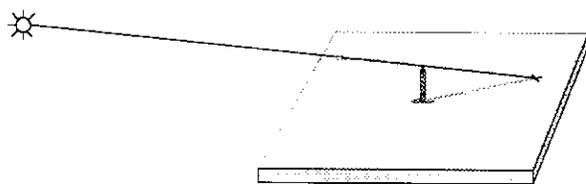
Pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver ?

Calcul de l'énergie reçue au sol à différentes dates

Le Soleil nous apporte son énergie principalement en chauffant le sol. J'ai cherché à calculer la quantité d'énergie reçue par un m² de sol horizontal en une journée, en été puis en hiver, à la latitude de 47° Nord ; on peut le faire à partir de formules mais aussi avec de simples relevés d'ombres. Je n'ai pas tenu compte de l'absorption atmosphérique ici, ce sera pour un prochain numéro.

Première partie : à partir d'un relevé d'ombres

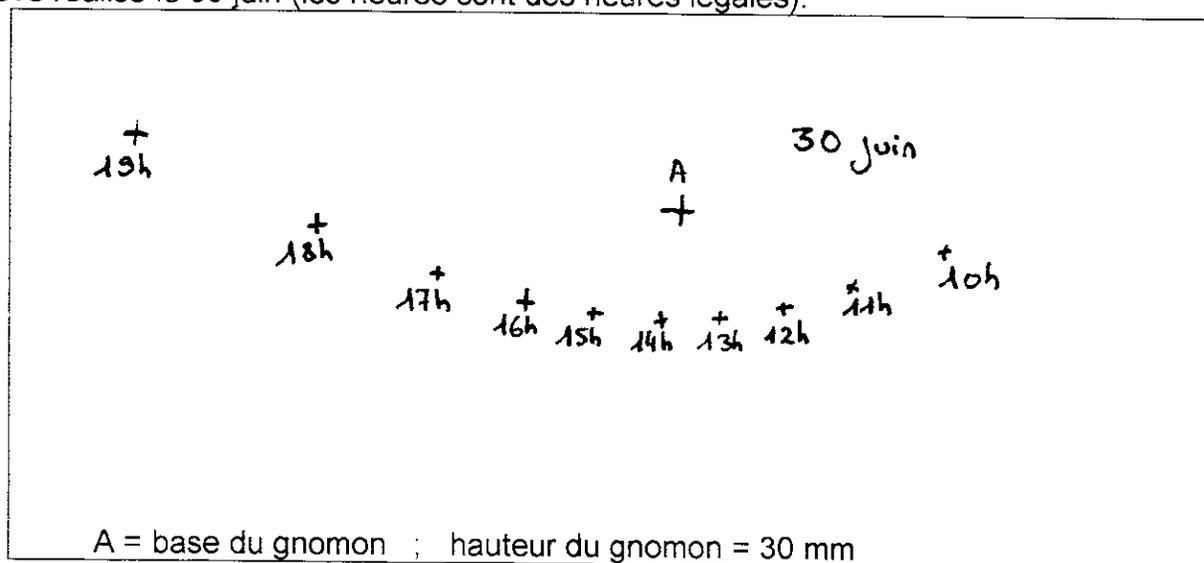
Principe du relevé



On note à différentes heures de la journée la position de l'ombre d'un point. On peut réaliser ce genre de relevé directement au sol avec un bâton vertical ou sur une planchette de bois. Dans ce cas, on observera l'ombre de l'extrémité d'un clou, d'une vis, ou d'un rivet fixé sur la planche.

Un tel dispositif a été maintes fois exposé dans les Cahiers Clairaut. C'est à partir de ce relevé que nous allons calculer la quantité d'énergie reçue au sol au cours de la journée.

Relevé réalisé le 30 juin (les heures sont des heures légales):



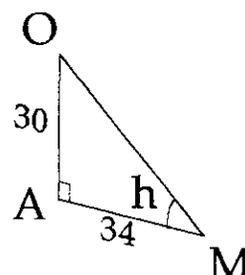
Hauteur du Soleil le 30 juin à 17 heures

Distance de la base du gnomon à l'extrémité de l'ombre mesurée sur le relevé :

$$AM = 34 \text{ mm}$$

Hauteur du gnomon : $OA = 30 \text{ mm}$

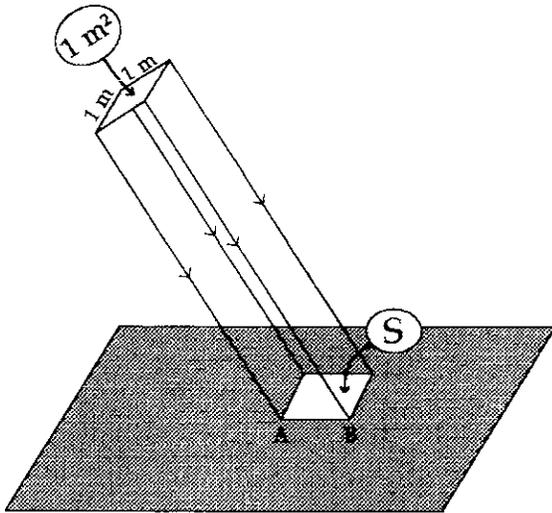
$\tan h = 30/34$ d'où $h = 41^\circ$ (hauteur du Soleil à 17h)



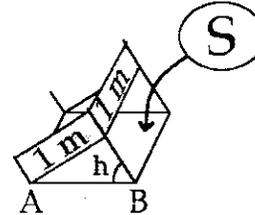
Puissance reçue par 1 m² de sol horizontal le 30 juin à 17 heures

On connaît la constante solaire (la puissance reçue du Soleil au niveau de la Terre par m² perpendiculaire au rayonnement et hors atmosphère). Elle vaut environ 1400 W par m² (pour son calcul, voir le TP du CLEA décrit dans les fiches Belin d'astrophysique).

Connaissant la hauteur du Soleil au dessus de l'horizon, on peut calculer la puissance reçue par 1 m² de sol horizontal :



Considérons un faisceau de lumière de 1 m² de section. Sa puissance est de 1400 W. Il éclaire au sol une surface horizontale d'aire S (en m²).



On a : $AB = 1 / \sin(h)$

donc $S = AB \times 1 = 1 / \sin(h)$

Puissance reçue par m² horizontal :

$$1400/S = 1400 \times \sin(h)$$

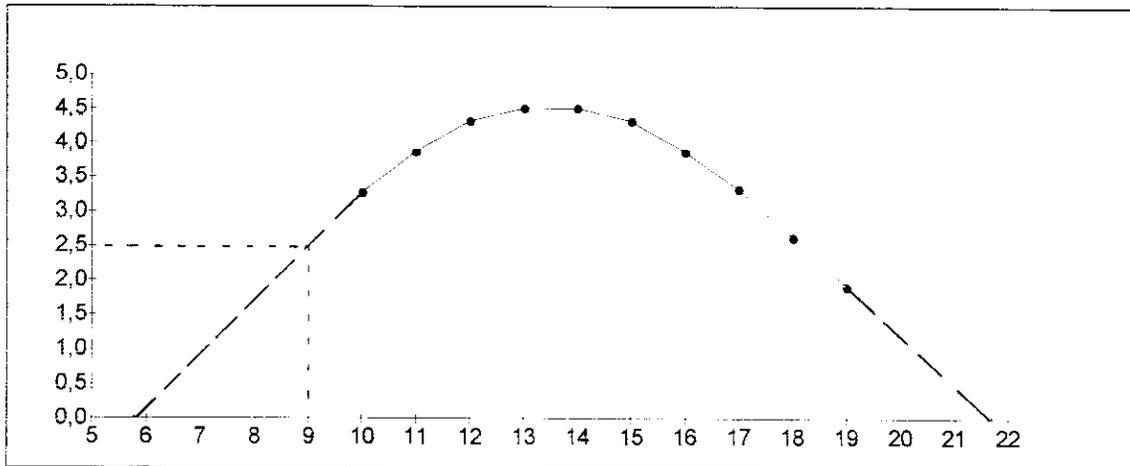
Pour le 30 juin à 17h, on obtient pour 1 m² de surface horizontale : $1400 \times \sin 41^\circ \approx 920$ W soit 920 J/s ou, en multipliant par 3600, 3,3 MJ/h

Puissance reçue chaque heure le 30 juin

Il manque quelques relevés, en particulier le matin, mais on peut estimer la puissance reçue à partir du graphique qui suit le tableau. Les valeurs ainsi obtenues ont été notées en italiques. Les puissances sont toujours données pour 1 m² horizontal.

Heure (légale)	Mesure de AM en mm	Hauteur du Soleil h en degrés $h = \text{ATAN}(OA/AM)$	Puissance reçue au sol sans tenir compte de l'atmosphère (en MJ/h) $= 1400 \times \sin h \times 3600$
6h			<i>0,1</i>
7h			<i>0,9</i>
8h			<i>1,7</i>
9h			<i>2,5</i>
10h	35	41	3,3
11h	25	50	3,9
12h	18	59	4,3
13h	15	63	4,5
14h	15	63	4,5
15h	18	59	4,3
16h	25	50	3,9
17h	34	41	3,3
18h	49	31	2,6
19h	73	22	1,9
20h			<i>1,2</i>
21h			<i>0,4</i>

Les puissances reçues le matin avant 10h et le soir après 19h ont été estimées à partir de ce graphique. On connaît les heures de lever et de coucher du Soleil à Dijon (5h50 et 21h40 en heures légales) :



(les abscisses sont en heures et les ordonnées en MJ/h)

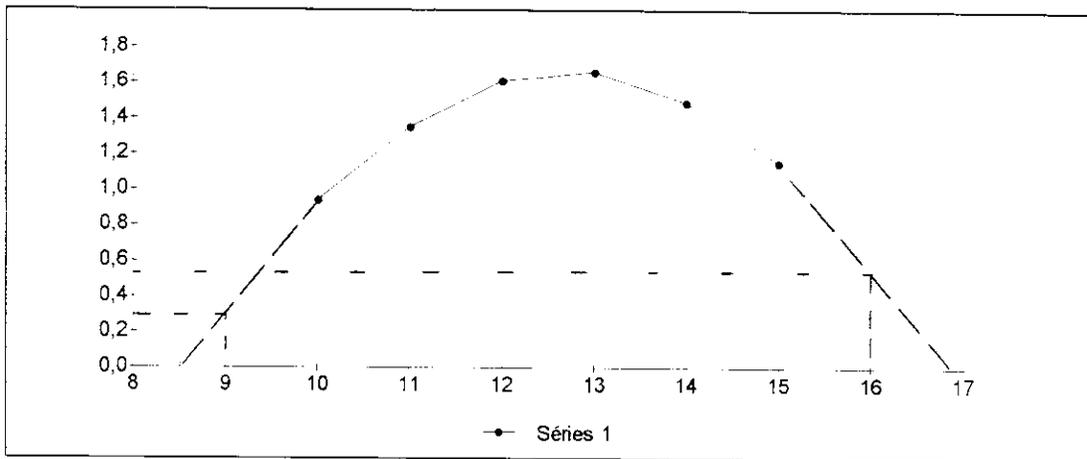
Energie totale reçue le 30 juin

Il suffit d'additionner les énergies reçues chaque heure, en les supposant constantes au cours de l'heure (dernière colonne du tableau) ; on arrive à un total de 43,3 Mégajoules.

Un m² de sol horizontal reçoit donc environ 43 Mégajoules au cours de la journée du 30 juin, ceci à une latitude de 47°Nord et sans tenir compte de l'absorption atmosphérique.

Cette valeur est tout à fait correcte, comparée au résultat théorique de la deuxième partie. On pourrait déterminer l'énergie absorbée par notre atmosphère en fonction de la qualité du ciel, ce qui n'est pas très facile. On obtiendrait, pour un ciel moyennement limpide une vingtaine de mégajoules. Cette valeur est évidemment très dépendante de la transparence de l'atmosphère.

Autre méthode : l'énergie reçue dans la journée correspond à l'intégrale de la courbe précédente, entre le lever et le coucher du Soleil. On peut obtenir sa valeur expérimentalement en découpant la surface comprise entre la courbe et l'axe des abscisses, et en trouvant la masse de ce morceau de papier à l'aide d'une balance de précision. L'étalonnage se fait à partir de la masse d'un rectangle de largeur 1 heure et de hauteur 1MJ/h, donc d'aire 1 MJ.



On obtient un total de **9 Mégajoules pour la journée du 26 décembre**, soit le cinquième de la valeur trouvée pour le 30 juin. On comprend qu'il fasse plus froid en hiver...

Deuxième partie : à partir de formules

La puissance reçue du Soleil pour 1 m² horizontal est égal à $C \times \sin h$, où C est la constante solaire ($C = 1400 \text{ W}$) et h la hauteur du Soleil au dessus de l'horizon, toujours sans tenir compte de l'absorption atmosphérique.

L'énergie reçue pendant un temps dt est donc égale à $dE = C \times \sin h \times dt$.

Les formules de changement de repère donnent : $\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$ avec φ = latitude du lieu ; δ = déclinaison du Soleil ; H = angle horaire du Soleil ($H = 0$ à midi solaire). On prendra $H = t \times \Pi / 12$ où t est l'heure solaire comptée à partir de midi.

$$dE = C \times [\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos(t \times \Pi / 12)] dt$$

Pour obtenir l'énergie reçue au cours d'une journée, il faut intégrer du lever de Soleil ($t = -a$) au coucher du Soleil ($t = +a$). On obtient :

$$E = C \times \left[\sin \varphi \times \sin \delta \times t \right]_{-a}^{+a} + C \times \left[12 / \Pi \times \cos \varphi \cos \delta \sin(t \times \Pi / 12) \right]_{-a}^{+a}$$

$$= 2.C.a.\sin\varphi.\sin\delta + 24.C/\Pi.\cos\varphi.\cos\delta.\sin(a \times \Pi/12)$$

Le temps (t et a) ayant été compté en heures, on prendra $C = 1400 \times 3600 \text{ J/h} \approx 5 \text{ MJ/h}$

L'heure a donnant le lever et le coucher du Soleil s'obtient avec la formule :

$$\cos(a \times \Pi/12) = -\tan \varphi . \tan \delta. \text{ On ne tient pas compte de la réfraction atmosphérique ici.}$$

En résumé :

On obtient a , en heures, avec $a = 12/\Pi.\cos^{-1}(-\tan \varphi . \tan \delta)$

Puis E en Mégajoules avec $E = 10.a.\sin \varphi . \sin \delta + 120/\Pi.\cos \varphi . \cos \delta . \sin(a \times \Pi/12)$

Application pour $\varphi = 47^\circ$

Au solstice d'été $\delta = 23,4^\circ$, $E = 44 \text{ MJ}$

Au solstice d'hiver $\delta = -23,4^\circ$, $E = 9 \text{ MJ}$

On avait trouvé pratiquement les mêmes résultats avec les relevés d'ombres.

Quelques remarques :

J'ai considéré que la constante solaire était une constante, ce qui n'est pas le cas puisqu'on est plus près du Soleil début janvier.

Je n'ai pas tenu compte de l'absorption atmosphérique, importante mais complexe. Je reviendrai sur ce problème dans un prochain CC.

Je n'ai pas testé ce TP, travaillant en collège et de plus en maths, mais j'espère que la première partie intéressera des profs de physique de lycée.

Pierre Causeret

PUB TELE ET ENSEIGNEMENT

On a pu voir, cet hiver, sur nos petits écrans, une jolie publicité mettant en scène un Français (en Bretagne ?), son ami Chinois sur la Grande Muraille (près de Pékin ?) et le Soleil qui se couche en Bretagne et se lève en même temps vers Pékin ; la simultanéité est confirmée par un coup de téléphone, obtenu justement grâce à la société de télécommunications qui a fait réaliser ce spot publicitaire.

Cette petite histoire, très agréable à regarder, est-elle plausible ? On peut le vérifier à l'aide d'un globe terrestre éclairé par une lampe de poche figurant le Soleil, l'ensemble étant posé sur une table représentant le plan de l'écliptique. La ligne de séparation entre le jour et la nuit (le terminateur) est un cercle sur la Terre situé dans un plan perpendiculaire au plan de la table et passant par le centre de la Terre, l'axe du terminateur pointant vers le Soleil. L'axe de rotation de la Terre est incliné de 23° environ (un quart d'angle droit) sur la perpendiculaire au plan de la table.

Lors du solstice d'hiver, fin décembre, le terminateur passe bien par la Bretagne et par Pékin simultanément, mais il s'agit alors d'un **lever** de Soleil en Bretagne et d'un **coucher** à Pékin. Six mois plus tard, lors du solstice d'été, le terminateur passe encore par la Bretagne et par Pékin : de la plage bretonne, on peut effectivement admirer le coucher du Soleil sur l'atlantique (vers le Nord-Ouest), tandis que depuis la Grande Muraille, on voit au même moment le Soleil se lever vers le Nord-Est. A regarder la publicité, on serait donc dans la situation réellement réalisée fin juin (et uniquement fin juin), mais le Breton n'y a pas vraiment une tenue estivale !

En réalité, le message est clair : comme sur l'empire de Charles-Quint, le Soleil ne se couche jamais sur celui de cette société (française) de télécommunications. Il est dommage que le réalisme du scénario n'ait pas été poussé plus loin ; en tout cas, cela permet d'utiliser cette publicité pour une application pédagogique, ce qui n'est pas si fréquent. Au besoin, on pourra revoir les schémas de l'article "*Ah ! les couchers de Soleil...*" dans le n°39-40 des **Cahiers Clairaut** (hiver 1987).

Michel Toulimonde

Un rendez-vous à ne pas manquer ... Hale-Bopp

Déjà l'an dernier, le passage à proximité de la Terre de la comète Hyakutake a été pour certains l'occasion d'observer ce type d'objets étranges, venus du fin fond du système solaire ... mais cette visite surprise a été relativement éphémère. Il n'en est pas de même de la comète Hale-Bopp, dont l'approche est annoncée depuis plus d'un an et qui, jusqu'à présent, semble tenir ses promesses de luminosité. Nous allons présenter la trajectoire de la comète H.B. puis indiquer où et comment l'observer, et même la photographier.

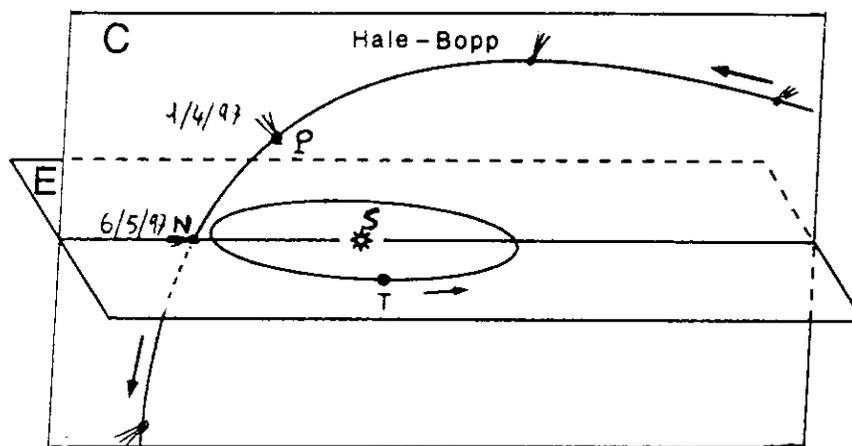
1. La trajectoire de H.B. dans le référentiel héliocentrique

Comme il en est de la plupart des comètes, la trajectoire de H.B. est une ellipse très allongée dont le Soleil est un foyer. On a estimé la période de révolution à 2540 ans ... il ne faut donc pas rater ce passage ! La comète atteindra le périhélie de son orbite (P sur le schéma), point le plus proche du soleil, le 1 avril 1997 ; elle se trouvera distante du soleil : $PS = r_{\min} = 0,91$ U.A, soit environ 136.10^6 km.

La trajectoire de H.B. rencontre le plan de l'écliptique en 2 points : les noeuds. Le noeud ascendant est déjà franchi : c'était le 28 février 1996, non loin de Jupiter. Le noeud descendant, (N sur le schéma), sera franchi le 6 mai 1997. Ce point est situé entre les orbites de Mars et de la Terre. A cette date, malheureusement, la Terre ne se trouvera pas au point de son orbite le plus proche de N

S'il en avait été ainsi, la comète se serait trouvée à seulement 17.10^6 km de la Terre et quel beau spectacle nous aurions eu !

Des calculs ont montré que la plus courte distance entre la comète et la Terre aura lieu le 22 mars 1997, peu avant le passage de la comète au périhélie ; la distance Terre-comète sera $r = 1,32$ UA, soit environ 197.10^6 km. A cette distance la comète sera très visible à l'oeil nu ... certains astronomes optimistes pensent que sa magnitude atteindra une valeur négative : la "tête" serait alors aussi brillante que Sirius.



2. La trajectoire de H.B. dans le référentiel terrestre

Les observateurs de l'hémisphère nord seront privilégiés puisque la comète sera visible jusqu'à la mi-mai, dans la partie de son parcours la plus intéressante. Son cheminement sur le fond du ciel étoilé est une large courbe avec un maximum où elle se rapproche de la Polaire: sa déclinaison atteindra alors la valeur maximale de environ 45° . Elle passera successivement à proximité de la constellation du Cygne (février), entre Cassiopée et l'ensemble Pégase - Andromède (mars), près de Persée (avril) et du Cocher (mai).-Elle sera visible ensuite, seulement dans l'hémisphère sud.

3. Où la voir ? quand et comment ?

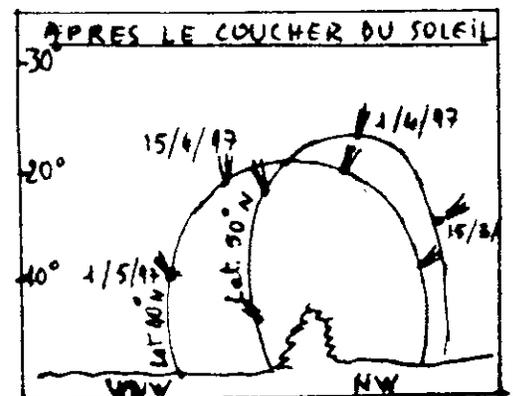
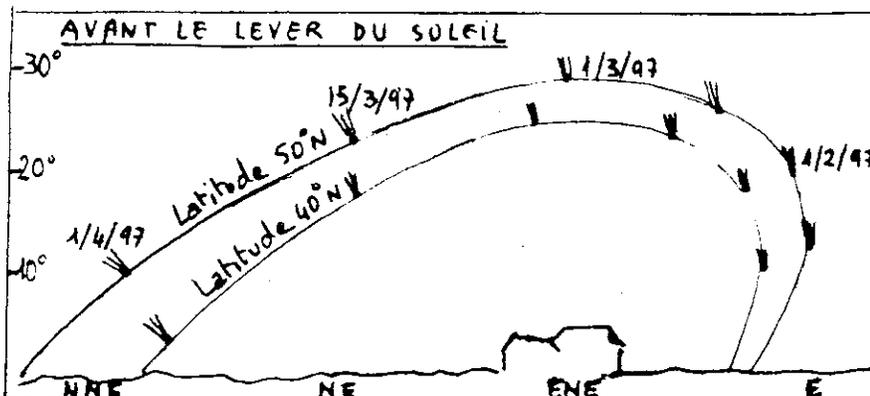
C'est évidemment lorsque une comète se trouve à proximité du soleil qu'elle est visible. En effet, ces petits corps faits de glaces et de poussières ne font que renvoyer la lumière du soleil. Mais, ce qui permet de distinguer une comète d'une étoile, c'est l'aspect nébuleux qui entoure la partie centrale, et la queue qui se développe dans la direction opposée au soleil. Avec une paire de jumelles, ces caractéristiques sont déjà très visibles sur H.B., depuis le début du mois de février.

Quand ? Le tableau ci-dessous résume les moments possibles pour l'observation., depuis un lieu de latitude moyenne (de 40°N à 50°N) :

de février au 12 mars	en fin de nuit, de plus en plus tôt
du 13 mars au 6 avril	toute la nuit
du 7 avril au 15 mai	en début de nuit, de plus en plus tôt.

Par ailleurs, il faut tenir compte de la présence de la lune qui, par sa luminosité, pourra gêner l'observation de la comète. Ce sera le cas, en particulier, lors de la pleine lune, dans la nuit du 23 au 24 mars ; mais, au cours de cette nuit ... une éclipse partielle de Lune est annoncée ... ce qui promet un fort beau spectacle !

Où ? Pour des lieux d'observation compris entre 40°N et 50°N , les schémas ci-dessous indiquent la position de la comète dans le ciel, le soleil étant situé à environ 18° sous l'horizon.



A propos de la mesure des angles : il est utile de savoir que le poing fermé d'un adulte tendant son bras vers le ciel correspond environ à un angle de 10°.

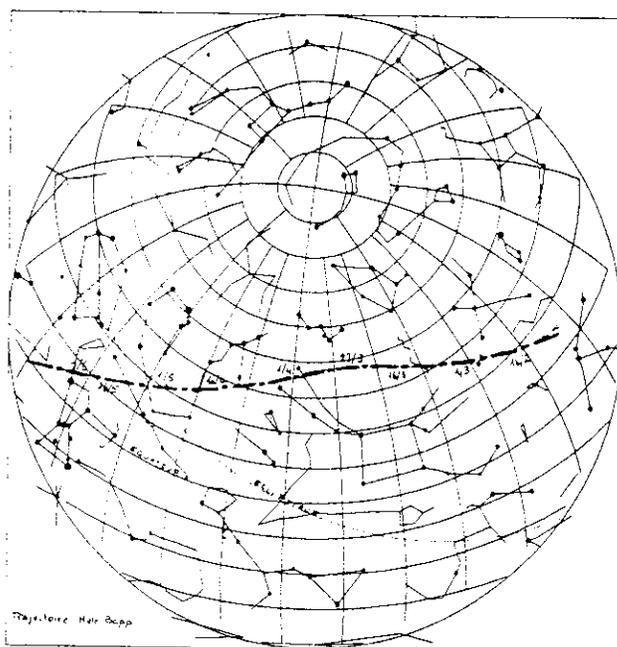
Pour conclure, je pense que la **période la plus appropriée pour faire de belles observations est le week-end du 28-29 mars, en soirée ; à partir de 21 h, et il faudra diriger son regard vers le Nord-Ouest, à 20° au dessus de l'horizon.**

4. Comment photographier Hale-Bopp ?

Les revues spécialisées ont déjà donné de superbes clichés de H. B. obtenus avec des instruments puissants. Mais, que peut faire l'amateur ... avec ses petits moyens ... c'est-à-dire un boîtier reflex avec un objectif standard (50 mm) ou mieux, avec un téléobjectif, disposant d'une pose B ? Marc Chapelet, grand spécialiste de la photographie du ciel nocturne, recommande ceci :

- l'appareil est fixé sur un pied fixe et équipé d'un déclencheur souple ;
- la pellicule est une Fujichrome Sensia 400 ISO ;
- la comète est cadrée de manière à avoir le plus de queue possible ;
- le réglage est effectué sur l'infini et le diaphragme le plus ouvert possible ;
- du fait de la rotation diurne (15"/seconde), la pose photo avec un objectif de 50 mm est d'environ une vingtaine de secondes si la comète est proche de l'équateur céleste et si l'on veut que le filé ne soit pas trop visible. On pourra poser un peu plus si la déclinaison du noyau de la comète est assez importante. (avec un téléobjectif, de 135 mm par exemple, ces temps doivent être diminués). Un dernier conseil ... afin d'éviter un désastre chez le photographe dont l'appareil de coupe automatique risque de gâcher votre travail : avant de commencer votre série de clichés de la comète, photographiez n'importe quoi, en plein jour ... ainsi la machine saura repérer le début de la partie exposée et découpera correctement toutes vos diapos. Alors, bonne chance avec Hale-Bopp !

Marie-Claude Paskoff



Le cadran solaire de Freeman

Un cadran solaire indépendant de la latitude

Paul Perbost (Nice)

Esquisse du cadran solaire de Freeman d'après une photographie

(*A latitude independent sundial by J/G.Freeman, Bradford, England - Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Toronto, vol 72. , 1978/2*)

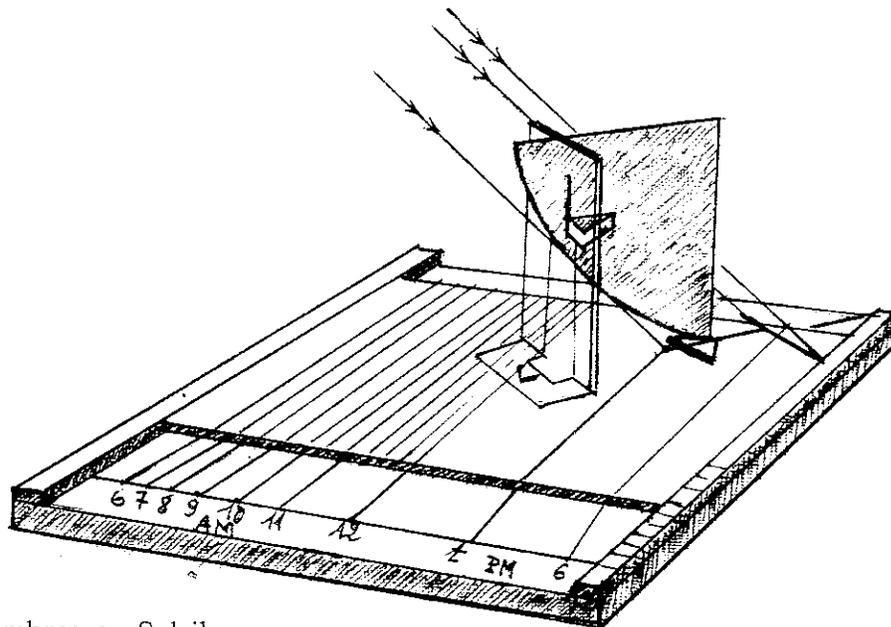


Fig.1

Remarquer les ombres au Soleil :

- du gnomon, amené dans le plan vertical de l'astre,
- des tasseaux triangulaires de serrage du gnomon contre son cadre transparent (en Perplex ou plexiglas),
- du bord supérieur du cadre (ou châssis), (ou armature),
- du pivot central qui fixe la semelle mobile sur la table glissante.

Observer la ligne indicatrice, parallèle à la méridienne, définie par le point extrême de l'ombre du gnomon courbe, ce point correspondant au rayon lumineux qui frôle la tranche incurvée de l'écran sous incidence rasante.

A cette ligne indicatrice est associée la ligne horaire t marquée sur l'échelle des heures.

Le châssis qui enserme le gnomon peut tourner autour d'un pivot fixé au centre de la table supérieure, à l'aplomb de la pointe supérieure du gnomon. Ainsi on peut amener l'écran dans le plan vertical du Soleil.

Enfin, la table supérieure, dont le gnomon est solidaire, peut glisser sur la table de base de telle sorte que son bord inférieur soit amené en face d'une graduation en déclinaisons, marquée sur le haut du coulisseau de droite du socle, celui-ci étant orienté vers le Nord.

1. Prologue

Les cadrans solaires indiquent essentiellement le temps solaire vrai local, c'est à dire l'angle horaire du centre du disque solaire. Il y est marqué par la position de l'ombre d'un écran, nommé style ou gnomon, sur une surface où sont tracées des lignes horaires correspondant à certains cercles horaires équidistants. Il existe une grande variété de ces instruments. Mais, malgré la surprenante diversité de ceux que la gnomonique a imaginés au cours des siècles, il n'en existe aucun, dans cette riche panoplie, qui soit indépendant de la latitude de l'observateur, ni dans sa conception ni son usage. Cependant, parmi les relations associées au "triangle de position" du Soleil sur la sphère céleste locale, l'une d'elles exprime l'angle horaire sans référence à la latitude.

Donc, bien que la tradition gnomonique n'en donne aucun exemple, il semble théoriquement possible de concevoir, de calculer et de construire un cadran solaire universellement utilisable, quel que soit le lieu où on le consulte, sans avoir à opérer un réglage préalable qui l'adapterait à la latitude de cet endroit.

Disons par anticipation que l'originalité de ce cadran insolite réside dans la forme de son gnomon, dont le bord exposé face au Soleil, dans un plan vertical, se présente sous l'aspect élégamment galbé d'un quart d'astroïde, ou hypocycloïde à quatre rebroussements. La géométrie analytique apprend à construire très simplement cette belle courbe. Par ailleurs, le cadran est constitué par une table horizontale mobile qui peut coulisser entre deux glissières sur une table fixe, comme sur un socle plan placé sous elle. Le gnomon, maintenu par un cadre approprié, peut être amené dans le plan vertical du Soleil autour d'un axe perpendiculaire à la table mobile dont il est solidaire. Nous verrons que la table mobile indique les coordonnées horizontales du Soleil, azimut et hauteur, tandis que la table fixe, dont un bord est gradué en déclinaisons du Soleil, porte les lignes horaires.

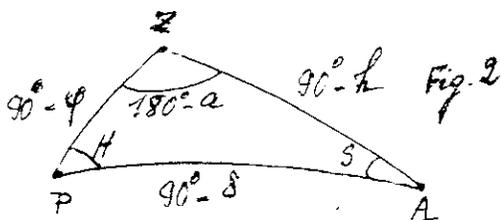
Dans ce qui suit, on rappellera les systèmes complets que la trigonométrie sphérique associe au "triangle de position" du Soleil, à propos des coordonnées astronomiques locales. On en déduira une classification des cadrans solaires, du point de vue de ces coordonnées. Et surtout on extraira de ces systèmes l'équation qui exprime l'angle horaire, indépendamment de la latitude, mais en fonction de l'azimut, de la hauteur et de la déclinaison du Soleil. Tout le reste de cette étude se fonde pratiquement sur cette équation.

2. Le triangle de position du Soleil

En un lieu de latitude ϕ , soit A le point directeur d'un astre, par exemple le Soleil, sur la sphère céleste locale, de coordonnées horizontales a et h , azimut et hauteur, et de coordonnées horaires H et δ , angle horaire et déclinaison, telles qu'on les définit en astronomie sphérique. Z et P désignant respectivement les pôles sphériques du grand cercle de l'horizon et du grand cercle de l'équateur céleste, le triangle de position de A est le triangle sphérique ZPA, Z étant le zénith du centre de la sphère et P le pôle céleste, point directeur de l'axe du monde au-dessus de l'horizon. Sans diminuer la généralité, on se

bornera au cas où $\phi > 0$: alors P est le pôle céleste boréal. L'angle en A, désigné par S n'intervenant généralement qu'à titre auxiliaire, il n'en sera pas question : on le nomme l'angle à l'astre ou angle parallactique.

Les coordonnées horaires sont fournies, en fonction ds coordonnées horizontales, par le groupe suivant (1) et réciproquement (2) :



$$(1) \begin{cases} \sin \delta = \sin \phi \sin h - \cos \phi \cos h \cos a \\ \cos \delta \sin H = \cos h \sin a \\ \cos \delta \cos H = \cos \phi \sin h + \sin \phi \cos h \cos a \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} \sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H \\ \cos h \sin a = \cos \delta \sin H \\ \cos h \cos a = -\cos \phi \sin \delta + \sin \phi \cos \delta \cos H \end{cases}$$

3. Une classification des cadrans solaires

Les cinq paramètres associés à la position du Soleil sont : ϕ ; (a,h) et (H, δ). Si l'on met à part H, que doit précisément indiquer le cadran, il reste ϕ , a, h et δ . Or, on démontre qu'on peut calculer trois éléments d'un triangle sphérique dont les trois autres sont donnés. Donc H peut être déterminé par trois des paramètres indiqués. On peut donc envisager quatre cas distincts :

1°) $H = f(\phi, a, h)$: H ne dépend pas de la déclinaison δ . Tel est le cas des cadrans ordinaires, équatoriaux, horizontaux, verticaux, bifilaires, etc.

2°) $H = f(\phi, a, \delta)$: H ne dépend pas de la hauteur h. Le cadran analemmatique elliptique, dont le gnomon est une tige verticale coulissante, entre dans cette catégorie.

3°) $H = f(\phi, h, \delta)$: H ne dépend pas de l'azimut a. Ainsi sont les cadrans de hauteur, en forme de cylindres, d'anneaux, de disques, etc... pour lesquels il n'est pas nécessaire de connaître le Nord ; le couplage d'un cadran horizontal ordinaire et d'un cadran analemmatique en est un autre exemple.

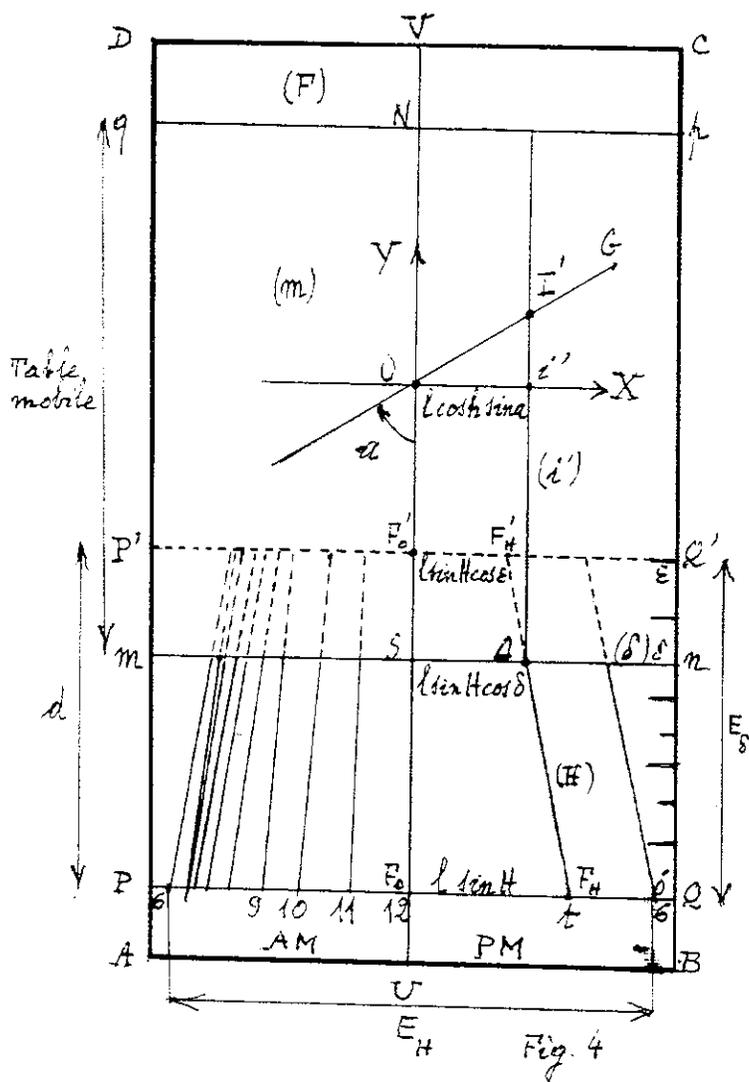
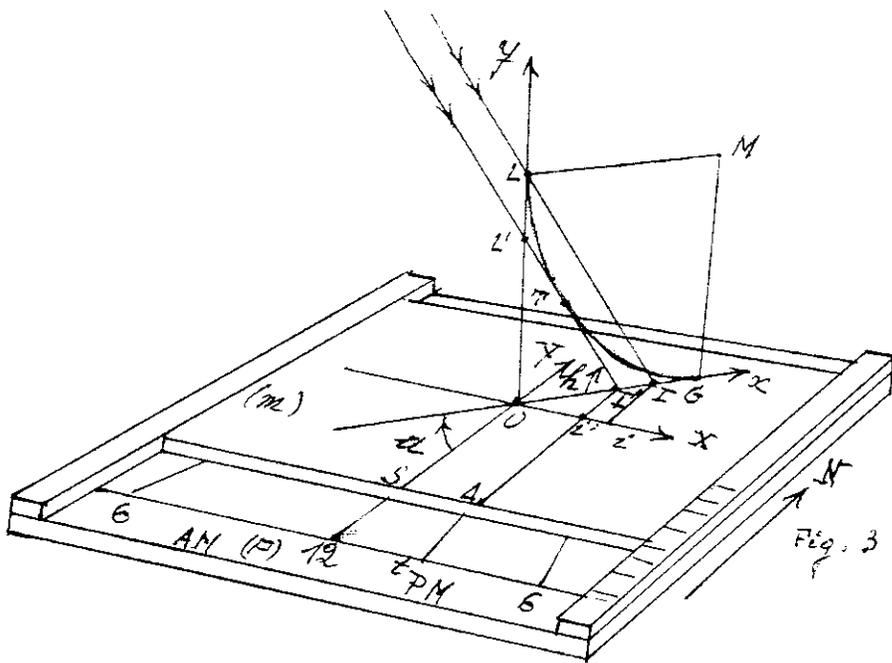
4°) $H = f(a, h, \delta)$: H ne dépend pas de la latitude.

La relation, extraite des systèmes (1) ou (2) :

$$(E) \quad \boxed{\cos \delta \sin H = \cos h \sin a}$$

annonce l'existence de tels cadrans. Dans ce qui suit, on en concevra un modèle plan qui donne l'angle horaire du Soleil, connaissant à la fois et en même temps son azimut, sa hauteur et sa déclinaison.

Admettons cependant que c'est plutôt une curiosité scientifique qu'un instrument d'usage pratique. On en doit l'invention à J.-G.Freeman, Bradford, England (Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, Toronto, vol 72, 1978/2).



4. Style droit télescopique ou gnomon courbe orientable

a) Le style droit

On nomme ainsi une tige verticale, OL, dressée sur une table horizontale (m). Soit l sa longueur. Si h est la hauteur du Soleil, la longueur de l'ombre portée par le style sur la table est égale à l cot h. Donc, relativement au repère orthonormé (Oxy), dans le plan vertical du Soleil, le point I où le rayon incident passant par L tombe sur la table a pour abscisse :

$$(1) \quad \overline{OI} = l \cot h \quad (\text{fig. 3})$$

Le style droit peut donc remplacer le théodolite puisqu'il permet d'évaluer h, et que la direction de l'ombre opposée à celle du Soleil détermine son azimut, a. Par projection sur l'axe OX dans le repère (OXY) auquel on rapporte la table (m), on a :

$$(2) \quad \overline{O'i} = l \cot h \sin a$$

Guidés par l'équation (E), multiplions cette valeur par sin h. Il vient :

$$(3) \quad \overline{O'i'} = l \cos h \sin a$$

Or, cette expression n'est autre que le produit par l du second membre de (E). La multiplication par sin h suggère alors d'effectuer l'homothétie H(O, sin h) de centre O, fixe sur (m), et de rapport continûment variable sin h. Une telle transformation conserve le parallélisme, donc les angles, tandis qu'elle multiplie les longueurs par son rapport. De telle sorte que :

$$(4) \quad \begin{aligned} \overline{OL'} &= l \sin h \\ \overline{O'I'} &= l \cos h \end{aligned}$$

On est ainsi conduit à imaginer un procédé technique qui piloterait en quelque sorte les oscillations du sommet L du style droit, de telle façon que les deux égalités précédentes soient satisfaites, au gré des fluctuations de h. Une tige télescopique magique conviendrait si l'on avait le moyen de régler continûment la position de son sommet comme on vient de le dire. Un ordinateur saurait le faire. Mais on peut fort élégamment s'en passer.

b) Un gnomon courbe éclectique

Au delà de la science fiction, on peut se demander plus concrètement si un écran plan à bord courbe interposé sur le flux lumineux du Soleil, dans le plan xOy, n'aurait pas le même effet modulateur quitte à supprimer alors le style droit, devenu ipso facto fictif.

Les indicatrices d'angle horaire et de déclinaison

Toujours conduits par l'équation (E) écrite sous forme équivalente :

$l \cos h \sin a = l \sin H \cos \delta$	(E')
$\downarrow \qquad \qquad \downarrow$	
$f(a, h) \qquad \qquad f(H, \delta)$	

nous voyons que l'abscisse de Δ , précédemment définie, s'exprime aussi par

$$\overline{S\Delta} = l \sin H \cos \delta$$

Dès lors, ce point, qui appartient déjà à l'indicatrice (i'), devra se trouver également au croisement de l'indicatrice de déclinaison, (δ), et de l'indicatrice horaire, (H), (fig. 4) qui seront définies et construites ci-après.

La figure montre schématiquement la table mobile (m), ou $mnpq$, posée sur la table fixe (F), ou $ABCD$, de telle sorte que le bord inférieur de (m) ait été amené en coïncidence avec (δ). La marque des graduations de l'échelle de déclinaison, E_δ , est simplement indiquée, entre Q et Q' , sur BC , ainsi que quelques lignes convergentes de l'échelle horaire, E_H , tracées sur (F) et qui seront finalement les lignes horaires du cadran.

Entraînée par le glissement de (m), la droite (δ) balaie une zone rectangulaire délimitée sur (F) par deux parallèles PQ et $P'Q'$, telle un barreau mobile appuyé sur les graduations de E_δ . Il est évidemment inutile de tracer cette indicatrice, car elle est constamment à l'aplomb du bord inférieur de (m) sur (F). Mais, comme $S\Delta$ fait intervenir la déclinaison par son cosinus, les degrés de E_δ ne peuvent qu'indiquer des valeurs absolues, de telle sorte que

$$0^\circ \leq |\delta| \leq |\epsilon|$$

où ϵ désigne l'obliquité de l'écliptique ($23^\circ 27'$). Les valeurs extrêmes de cet encadrement correspondent évidemment aux équinoxes et aux solstices, sans distinction des saisons. Un tableau annuel des déclinaisons quotidiennes serait utile. nous en donnons un, en annexe.

La largeur de QQ' , c'est à dire l'amplitude de E_δ , peut naturellement être choisie arbitrairement, indépendamment de la longueur l . Nous la désignerons par d .

En définitive, la table mobile (m) est associée au premier membre de (E') tandis que la table fixe (F) est liée à son second membre. La translation de (m) sur (F) est guidée par deux coulisseaux fixés latéralement sur les bords opposés de la table (F), parallèlement à la méridienne SN (cf fig. 1 et 3). Et c'est au carrefour Δ des trois indicatrices (i'), (δ), et (H) qu'on pourra lire l'heure en toute latitude.

Observons d'abord que le segment $I'L'$ ne varie pas de longueur, puisque selon les expressions (4), on a $I'L'^2 = l^2(\sin^2 h + \cos^2 h)$; donc $I'L' = l$

Par conséquent le bord courbe à déterminer est l'enveloppe d'un segment de longueur invariable dont les extrémités glissent sur les axes rectangulaires Ox et Oy . Or il existe une courbe remarquable qui remplit ces conditions : c'est une hypocycloïde à quatre rebroussements, joliment nommée astroïde. On la construit aisément ; nous en reparlerons. La figure 3 représente en perspective l'écran plan LMG , ou gnomon, dont le bord incurvé tourné vers le Soleil dans un plan vertical a précisément la forme requise. Ainsi, tandis que l'ombre du style droit télescopique OL' imaginé ci-dessus, puis abandonné par simple souci de réalisme, eût été OI' , celle du gnomon courbe qui le remplace concrètement devient $I'G$, produit par le rayon lumineux incident qui rase tangentiellement le bord du gnomon en T .

(à suivre)

Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

LETTRE A LA MARQUISE

Madame,

Choisir le bouquet de lectures à vous présenter, chaque trimestre, dans ces Cahiers, est un plaisir et une source d'inquiétude. Saurons-nous assortir fleurs de saison et feuillages d'accompagnement ? Voici, pour ce nouveau printemps, une relecture de Newton qui devrait particulièrement vous plaire (et vous montrer que nous n'oublions pas votre oeuvre), un texte de Descartes dont on parle plus souvent qu'on ne le lit, des réflexions d'un physicien qui bouscule parfois les idées reçues et enfin un panorama sur les planètes géantes, ouvrage aux saveurs modernes. Parce que ce bouquet inaugure la vingtième année de notre revue, nous avons voulu l'accompagner de ce bref message personnel, comme une manière d'exprimer notre fidélité à l'idée qui a fait choisir le titre de notre revue.

G.W

LES "PRINCIPIA" DE NEWTON par Michel BLAY ; collection "Philosophies", 128 p. ; éd PUF 1996 (45 F)

Cette collection "Philosophies" a été inaugurée en 1984 par le **Galilée, Newton lus par Einstein** de Françoise Balibar, un chef d'oeuvre du genre : l'aide remarquable qu'apporte un spécialiste en relisant pour nous, avec nous, les textes fondamentaux. Dans ce n°62 de la collection, Michel Blay, historien des sciences, nous propose un très suggestif raccourci, les antécédents des "Principia", l'analyse détaillée des "Principia" eux-mêmes et comment ils débouchent, la synthèse leibnizienne aidant, à la grande analyse de la science du mouvement.

La qualification de Michel Blay à nous guider est attestée par la suite de ses oeuvres personnelles, depuis **La conceptualisation newtonienne des phénomènes de la couleur** (Vrin 1983), **Etudes sur l'optique newtonienne** (Christian Bourgois 1989), **La naissance de la mécanique analytique** (PUF, 1992), **Le traité de la lumière de Christiaan Huygens** (Dunod, 1992) et enfin **Les raisons de l'infini** (Gallimard 1993). Son mérite, dans cet excellent petit nouveau livre est pédagogique comme l'aperçu des quatre parties qu'il comporte devrait le faire sentir.

Durant tout le XVII^{ème} siècle, la nouvelle science du mouvement a fait réfléchir les savants : innovation galiléenne et effort déductif chez Huygens, mouvement circulaire et problème de la fronde chez Descartes. On aboutit, dans cette partie préparatoire, à une expression correcte de la force centrifuge.

La deuxième partie est une vue d'ensemble sur les "Principia", les trois livres avec l'introduction détaillée d'un exposé déductif avec définitions et axiomes. Les livres I et II précisent et développent la méthode, le livre III présente le système du monde à partir de la fameuse hypothèse première : "*Le centre du système du monde est au repos. C'est ce dont on convient généralement, les uns seulement prétendant que la Terre est ce centre, et d'autres que c'est le Soleil*". Seule allusion à un choix possible entre deux systèmes ; pour Newton, copernicien convaincu, pas d'hésitation.

Troisième partie, Blay l'intitule le travail de la physique mathématique : comment de la théorie des forces centrales, on parvient à la gravitation universelle.

Quatrième partie, la refonte analytique, me paraît la plus captivante : comment la nouvelle algorithmique, celle de Leibniz, permet à des savants, comme Varignon, de réécrire, pourrait-on dire, les "Principia" et prépare ce qui couronnera la construction, la **Mécanique analytique** de Lagrange en 1788. Michel Blay a réussi cette conclusion, en nous montrant bien comment l'oeuvre de Newton a été assimilée par les Européens des Lumières. Et aussi plus prosaïquement en donnant au lecteur de ce petit livre le désir de se reporter à son étude sur la naissance de la mécanique analytique. Comme si l'oeuvre de Newton n'apparaissait jamais aussi grande que lorsqu'on la voit déboucher sur celle de Lagrange.

LE MONDE, L'HOMME par René Descartes ; introduction de Annie Bitbol-Hespériès ; textes établis et annotés par Annie Bitbol-Hespériès et Jean-Pierre Verdet ; collection "Sources du savoir" ; 230 p. ; éd Seuil 1996 (290 F).

Dans cette collection "Sources du savoir", à côté du **Messenger des étoiles** et du **Dialogue sur les deux grands systèmes du monde** de Galilée, riche par ailleurs des six volumes d'écrits choisis et traduits d'Albert Einstein, voici un texte de Descartes souvent invoqué et rarement lu parce que rarement édité.

Exemple : dans le Descartes de la Pléiade, seulement des fragments de la géométrie et seulement la partie sur l'homme du présent texte. Voici donc une édition précieuse et solidement encadrée par une introduction de Annie Bitbol-Hespériès, qui est philosophe, et pour les nombreuses notes et commentaires cette spécialiste de Descartes a été aidée par l'astronome Jean-Pierre Verdet.

En fait, ce grand traité du Monde et de la lumière dont l'Homme n'aurait été qu'une partie, ce grand traité qui, pour Descartes, devait lui permettre d'exprimer complètement sa conception du monde, il l'a longuement médité. Depuis la fameuse nuit du 10 novembre 1619 dans le grand poêle de Neubourg jusque dans l'année 1633 au cours de laquelle il envisage enfin la publication. L'ouvrage reste pourtant inachevé, on verra plus loin pourquoi, et sa publication posthume (1664) ne pouvait plus avoir le retentissement que l'oeuvre méritait.

Descartes énonce ainsi le but qu'il poursuit : "*expliquer toute la nature en nous délivrant de l'admiration. ... Mais afin que je puisse mieux vous faire entendre ma pensée sur ce sujet et que vous ne pensiez pas que je veuille vous obliger à croire tout ce que les Philosophes nous disent des éléments, il faut que je vous les délivre à ma mode.*"

Pour lui, le premier élément est le feu, "liqueur la plus subtile et la plus pénétrante qui soit au monde", le second l'air, le troisième la terre. Quant à tous les corps dont l'univers est composé "*nous n'en trouverons que de trois sortes qui puissent être appelés grands, et comptés entre ses principales parties, c'est à savoir, le Soleil et les étoiles fixes pour la première, les cieus pour la seconde, et la Terre avec les planètes et les comètes pour la troisième.*" Les cieus sont le vaste domaine des tourbillons.

Il faut noter que la description du monde adoptée par Descartes est complètement copernicienne, tous les mouvements y sont circulaires et il ne se réfère nulle part aux lois de Kepler qu'il ne pouvait ignorer. D'où, plus tard, la critique de Newton : "*l'hypothèse des tourbillons se heurte à beaucoup de difficultés. Pour que chaque planète décrive par rapport au Soleil des aires proportionnelles au temps, les révolutions des parties des tourbillons devaient être comme la puissance 2 des distances au Soleil. Pour que les révolutions des planètes fussent comme la puissance 3/2 de leurs distances au Soleil, les révolutions des parties des tourbillons devraient être comme la puissance 3/2 des distances au Soleil.*" Il y eut pourtant des défenseurs de tourbillons de Descartes et jusqu'en 1730 puisque Jean Bernoulli obtint alors un prix de l'Académie des Sciences pour avoir montré que "*l'effet des tourbillons peut conspirer merveilleusement avec la règle de Kepler quant à la loi des temps périodiques des planètes.*" Une preuve supplémentaire de l'habileté mathématique des fameux frères Bernoulli.

En réalité, ce ne sont pas des considérations de ce genre qui arrêterent Descartes. Il avait pris le parti d'un exposé copernicien et il voulait surtout convaincre sans heurter : "*Il me reste encore beaucoup d'autres choses à expliquer, et je serais même bien aise d'y ajouter quelques raisons pour rendre mes opinions plus vraisemblables. Mais afin que la longueur de ce discours vous soit moins ennuyeuse, j'en veux développer une partie dans l'invention d'une fable, au travers de laquelle j'espère que la vérité ne laissera pas de paraître suffisamment et qu'elle ne sera pas moins agréable à voir que si je l'exposais toute nue.*"

Mais, en novembre 1633, Descartes apprend la condamnation de Galilée. Il écrit alors au Père Mersenne : "*Je sais bien qu'on pourrait dire que tout ce que les Inquisiteurs de Rome ont décidé n'est pas incontinent article de foi pour cela, et qu'il faut premièrement que le Concile y ait passé. Mais je ne suis point si amoureux de mes pensées, que de me vouloir servir de telles exceptions pour avoir besoin de les maintenir.*" Le désir, pour lui, de vivre en repos l'emporte, il reprend à son compte le vers d'Ovide "*Il a bien vécu, celui qui a vécu caché.*"

Heureusement, l'oeuvre reste. Dans ce prestigieux XVII^{ème} siècle, riche en oeuvres capitales, l'ouvrage de Descartes est une première synthèse audacieuse, trop audacieuse peut-être ; elle souligne par contraste l'importance de l'oeuvre de Newton.

LIRE ET ECRIRE L'AVENIR, l'astrologie dans la France du grand siècle (1610-1715) par Hervé Drévilion ; collection "Epoques", 286 p.; éd Champ Vallon, PUF 1996 (160 F).

L'Auteur de ce livre, maître de conférences à l'Université Paris I, est un spécialiste de l'histoire sociale des pratiques culturelles au XVII^{ème} siècle. Il ne se propose donc pas de discuter de la valeur scientifique des thèses astrologiques et, dit-il, "*l'astrologie a moins à voir avec l'histoire des sciences qu'avec celle des consciences.*"

La nullité des thèses astrologiques étant ainsi posée, il s'est demandé pourquoi, au temps de Richelieu, l'astrologue Campanella s'attire les faveurs du tout puissant Cardinal alors qu'en 1682, Louis XIV assimile les astrologues aux magiciens et leur ordonne de quitter le royaume. Les hommes au

pouvoir sont donc convaincus de l'absurdité des thèses astrologiques mais ils réagissent en fonction des dangers ou des avantages qu'ils pensent pouvoir tirer des prévisions des "madame Soleil" de leurs temps. On peut se demander, en 1997, si ce n'est pas une leçon à retenir quand on constate la place scandaleuse accordée par les chaînes nationales de télévision aux horoscopes des magiciens de notre temps.

Le livre de Hervé Devrillon est le fruit d'une recherche méticuleuse, une mine de références. Se demander quel service exactement "la profondeur des vues" d'un Campanella a pu rendre à la monarchie française intéressera peut-être les historiens mais risque de ne pas faire monter d'un cran la réputation de grand politique du fameux Cardinal.

LES PLANETES GEANTES par Thérèse Encrenaz ; collection "Regard sur la Science", 190 p. ; éd. Belin 1996 (98 F).

Cette belle monographie a été réalisée par une astronome de Meudon qui y dirige le département de recherche spatiale. Sous la forme d'un texte clair enrichi d'une illustration en couleur de qualité, nous trouvons dans ce livre tout ce qu'il faut savoir sur un domaine en pleine évolution tant la recherche y est active. Le rappel de l'histoire des planètes pouvait faire croire, il y a 60 ans, qu'il n'y avait plus de grandes découvertes à venir. C'était mal apprécier tout ce que les perfectionnements des instruments permettrait déjà à l'observation optique. Mais, évidemment, l'explosion des découvertes est venue avec l'ère spatiale.

Le domaine de la planétologie offre donc tous les traits de la recherche vivante. Chaque découverte apporte une information imprévue, une pièce nouvelle dans le grand puzzle, non sans poser de problèmes nouveaux ou de poser à neuf un vieux problème en sommeil. Les données extraordinaires glanées par les sondes ne devant pas faire oublier l'intérêt (y compris du point de vue économique) des observations terrestres. D'abord parce que celles-ci bénéficient elles aussi de perfectionnements techniques, ensuite parce qu'elles permettent de longues surveillances. L'exemple récent de l'observation de la chute de la comète Shoemaker sur Jupiter n'a-t-il pas attiré l'attention sur des observations du même genre notées par J.-D. Cassini durant les premières années de l'Observatoire de Paris ?

Bien sûr, les découvertes dues aux sondes spatiales restent primordiales. La grande diversité qu'elles mettent en évidence, aussi bien entre planètes qu'entre satellites de la même planète, augmente la curiosité des chercheurs et multiplie les données pour les théoriciens qui élaborent des théories de plus en plus vraisemblables de la genèse du système planétaire. La découverte d'autres systèmes planétaires n'est pour le moment qu'ébauchée, mais on devine que ce sera un des grands sujets du prochain siècle.

Remercions Thérèse Encrenaz, ainsi que Fabienne Casoli qui a collaboré à l'ouvrage, de nous donner une aussi riche documentation qui a toute la fraîcheur de la recherche vivante.

AUX CONTRAIRES – L'exercice de la pensée et la pratique de la science par Jean-Marc Lévy-Leblond ; nrf-essais 436 p. ; éd Gallimard 1996 (170 F)

LA PIERRE DE TOUCHE – La science à l'épreuve... par Jean-Marc Lévy Leblond ; folio-essais 368 p. ; éd Gallimard 1996.

Faut-il mettre la science en culture ? La pertinence de cette question apparaît dans son évidence quand on compare l'allure allègre des conquêtes du savoir, avec les inévitables désordres qu'apporte chaque découverte dans le tableau du monde qu'elle bouleverse et la réorganisation de ce savoir que chaque apport nouveau exige. Or il y a un décalage entre l'exubérance des découvertes et le bilan plutôt morose des réflexions globales sur la science. Ce décalage n'est pas seulement dommageable à la science elle-même mais également à toute l'espèce humaine qui se trouve ainsi déséquilibrée dans son évolution. Un chercheur trop amateur d'interventions médiatiques mais qui se veut scientifique, déclarait récemment : "*Je suis un scientifique, donc je ne pense pas*". Boutade, bien sûr, mais aussi révélatrice d'une tendance chez certains hommes de laboratoire ne fréquentant plus assez les bibliothèques.

Il est donc urgent que des scientifiques prennent conscience du rôle qu'ils ont à jouer à ce sujet et tel est le premier mérite du livre de Jean-Marc Lévy-Leblond dont le sujet est pleinement explicité par le sous-titre "**l'exercice de la pensée et la pratique de la science**". L'Auteur est bien placé pour une telle entreprise ; physicien théoricien, sa compétence est affirmée dans sa collaboration avec Françoise Balibar pour le traité **Quantique** dont le sous-titre "Rudiments" est marqué d'une subtile et plaisante ironie. Mais à côté de ce travail de théoricien (et de pédagogie), il a également publié des livres critiques sur la science comme **Auto-critique de la science** qui venait peu après 1968 mais qui a

été suivi d'un autre volume, *L'esprit de sel, science, culture, politique*, qui marquait par conséquent une juste persévérance d'indépendance. Ce physicien a également le souci d'une vulgarisation sérieuse et il dirige depuis de nombreuses années la collection "Science ouverte" du Seuil qui a de très bons ouvrages à son catalogue. Enfin son souci de mettre la science à sa place dans le mouvement général de la culture, il l'affirme en dirigeant la revue pluridisciplinaire *Alliance* ou encore en participant au Centre de recherches en histoire des idées de son université de Nice, ce qui l'a conduit à prononcer des conférences qui sont à l'origine de maintes pages du présent livre.

Il y montre un réel souci pédagogique. Sachant les niveaux très divers des connaissances de son public, il limite au strict nécessaire les exposés techniques et multiplie d'astucieux et diversifiés guillemets pour distinguer les passages techniquement exigeants de ceux qui sont essentiellement critiques. On trouve même des dialogues d'intention maïeutique qui, – je dois l'avouer –, ne m'ont pas toujours convaincu.

La formule de l'ouvrage consiste à examiner tour à tour des couples conceptuels antinomiques tels que absolu/relatif, élémentaire/composé, continu/discontinu, abstrait/concret, etc. Rien d'une vulgarisation par adoucissement des difficultés conceptuelles mais provocation à réfléchir sur les dites difficultés. Et ceci, pas forcément sur les problèmes les plus aigus de la physique quantique tels que les concepts ondes/corpuscules, mais tout aussi bien des problèmes classiques comme l'action à distance et le concept de champ. Il s'agit bien d'une véritable mise en culture de la science.

La diversité des thèmes abordés facilite la lecture, d'autant que suivre l'ordre des chapitres n'est pas indispensable. Tous les thèmes examinés ne sont pas également porteurs de réflexion fructueuse, l'opposition droite/courbe ne vaut pas celle du continu/discret ou celle de certain/aléatoire. Mais dans chaque dissertation, il y a de quoi nourrir des vraies mises en cause de ce qu'on croit acquis. Lévy-Leblond a eu la bonne idée de publier en même temps une réunion d'articles divers écrits de 1988 à 1995. On y trouve, entre autres, *Pour une critique de la science* qui résume à mon avis l'essentiel de ses préoccupations : la triple fonction de cette critique serait productrice (discuter la validité des recherches, en dégager le sens, enfin discuter leur orientation); médiatrice (par la vulgarisation scientifique, par le souci de la formation des chercheurs) et enfin politique (aspects sociaux et économiques de la recherche).

En passant, Lévy-Leblond ne pouvait éviter de considérer le problème de la vulgarisation scientifique en langage véhiculaire, par opposition avec l'expression mathématique. Il cite comment Laplace décrit la distribution gaussienne des erreurs de mesure dans son *Essai philosophique sur la théorie des probabilités* qui était destiné au grand public éclairé de son temps : "*La probabilité des erreurs que chaque élément laisse encore à craindre est proportionnelle au nombre dont le logarithme hyperbolique est l'unité, élevé à une puissance égale au carré de l'erreur, pris en moins, et multiplié par un coefficient constant qui peut être considéré comme le module de la probabilité des erreurs.*" Soit plus de trois cent caractères d'imprimerie pour exprimer la formule de la fameuse courbe en cloche de Gauss qui tient en cinq caractères

$$p(t) = e^{-at^2}$$

Mais, on en conviendra, la langue véhiculaire a ses richesses et son charme...

En lançant l'analyse–discussion des concepts "contraires", Lévy-Leblond a mis la main sur une mine inépuisable de réflexions critiques qui seront favorables à une meilleure prise de conscience du rôle de la science dans la culture. Dans sa conclusion – qui ne peut être qu'une invitation à poursuivre recherches et réflexions dans tous les sens –, il revient sur l'ouvrage de Laplace à propos des probabilités. parce que le Savant s'interdisait tout développement mathématique, ses pages relèvent souvent d'une certaine "naïveté pédagogique" mais le livre garde tout son prix à nos yeux par la profondeur des remarques épistémologiques qui ont, en quelque sorte, échappé à la plume du vulgarisateur maladroît.

Plus consciemment, Lévy-Leblond avance dans les deux voies, vulgariser les connaissances, réfléchir aux modes d'acquisition de celles-ci. La lecture (ou relecture) des articles réunis dans *La pierre de touche* met effectivement la science à l'épreuve ou de la société ou de la mémoire ou de la culture ou de la pensée. Le texte *Un savoir sans mémoire* (paru en 1988 dans l'excellente revue *Le Genre humain*) gagne à être relu huit ans plus tard : pour constater que l'évolution est lente, que la multiplication des efforts de citoyens qu'on pourrait dire "indépendants" ou "hors norme" comme Albert Jacquard ou Lévy-Leblond sont un peu dérisoires devant le poids des habitudes, des traditions, des conformismes ; mais dérisoires seulement en première apparence car le grain sous la neige germera.

DANS LES REVUES

- L'Astronomie – Novembre 1996 : Spécial mission sur Mars
– Décembre 1996 : Hommage à Bruno Morando (Suzanne Débarbat et Denis Savoie)
- Pour la Science – Décembre 1996 : La topologie de l'Univers (Marc Lachièze-Rey et Jean-Pierre Luminet)
– Janvier 1997 : Les changements climatiques sur Mars (Jeffrey Kargel et Robert Strom)
– Février 1997 : Le deutérium primordial (Craig Hogan)
- La Recherche – Décembre 1996 : Jeux de lumière dans les anneaux de Saturne (Bruno Sicardy et François Poulet)
– Février 1997 : Vie sur Mars, la controverse (Philippe Gillet et Pierre Thomas)
La Lune au secours d'Einstein (Kenneth Nordvedt)

PARMI NOS LETTRES

Merci à nos correspondants qui profitent d'une lettre pour donner écho de leurs lectures, soit pour dire leur satisfaction, soit pour s'interroger.

William Mountebank : "*En lisant Le Côté de Guermantes I* de Marcel Proust (éd La Pléiade p.171), je tombe sur cette phrase :

"Le cabinet où se trouvait Saint-Loup était petit, mais la glace unique qui le décorait était de telle sorte qu'elle semblait en réfléchir une trentaine d'autres, le long d'une perspective infinie."

Je m'interroge : 1°) comment, si la glace était vraiment unique, peut-elle en réfléchir une trentaine d'autres ? 2°) Trente réflexions suffisent-elles à donner une perspective infinie ?"

Jacques Vialle : "*Je viens de terminer la lecture du Songe de Kepler et je regrette bien d'avoir attendu aussi longtemps pour découvrir cette oeuvre superbe de clarté.*"

Paul Perbost : "*Les curiosités calendaires dues à l'inimaginable érudition de Carmagnole m'ont fait penser au beau théorème des deux carrés de Fermat, "tout nombre premier qui dépasse de l'unité un multiple de 4 est composé de deux carrés." Hardy le donnait en exemple de théorème célèbre et beau, Gauss comme un théorème élégant. Fermat avait d'ailleurs observé que le carré du nombre premier est à son tour et d'une seule manière somme de deux carrés, que son cube et son bicarré le sont de deux manières et ainsi de suite indéfiniment...."*

Notre Collègue rappelle que la décomposition se fonde sur l'identité suivante que connaissait déjà Léonard de Pise (Fibonacci)

$$(a^2 + b^2)(c^2 + d^2) = (ac \pm bd)^2 + (ad \mp bc)^2$$

Ce qui donne en cette circonstance :

$$1997 = 29^2 + 34^2 \quad 1997^2 = 315^2 + 1972^2 \quad \text{une seule décomposition}$$

$$1997^3 = 76183^2 + 46478^2 = 57913^2 + 67898^2 \quad \text{deux décompositions}$$

$$1997^4 = 3789559^2 + 1242360^2 = 629055^2 + 3938084^2$$

Et ainsi de suite indéfiniment disait Fermat.

LECTURES A VENIR

- Le Soleil et ses relations avec la Terre par Kenneth R.Lang, traduit de l'américain par Marie-Ange Heidmann : éd Springer.
- Cosmopolitiques par Isabelle Stengers ; éd La Découverte.
- Les Météorites, sous la direction de Brigitte Zanda ; éd Bordas.

LA MESURE DU TEMPS IV - LES TEMPS MODERNES

Françoise SUAGHER (suite et fin)

L'ABANDON DU SOLEIL VRAI

Avec l'augmentation de la précision de la détermination de l'heure, on ressent de plus en plus cruellement le problème du décalage entre le temps du Soleil et le temps des montres : les variations de la vitesse de déplacement de la Terre autour du Soleil font que le jour n'a pas une durée constante d'un bout à l'autre de l'année. Les jours solaires ne sont pas égaux. Ptolémée déjà, évoquait le problème dans l'Almageste, et l'expliquait par ses épicycles. Le décalage porte le nom d'équation du temps. Les premières tables d'équation du temps sont publiées en 1672 par Flamsteed.

Pour régler correctement une pendule, au XVIII^{ème} siècle, on se réfère toujours au passage du Soleil dans le méridien, mais on effectue une correction, dont la valeur dépend de la date.

En 1740, Grandjean de Fouchy, substitue, aux tables du temps utilisées jusqu'alors une courbe en forme de 8 : la méridienne de temps moyen.

En 1750, Casanova écrit dans ses mémoires : "Je vois beaucoup de monde dans un coin du jardin, se tenant immobile, le nez en l'air. Je demande ce qu'il y a de merveilleux. On se tient attentif à la méridienne, chacun a sa montre à la main pour la régler sur le point de midi"... A cette époque la plupart des montres ont deux aiguilles et même certaines indiquent les secondes.

On commence à s'intéresser sérieusement à cette imprécision et bientôt on définit le Soleil moyen, Soleil fictif, dont le mouvement, projeté sur l'équateur est uniforme. On adopte comme durée du jour, le jour solaire moyen, de durée constante tout au long de l'année. Cette définition est acceptée par la plupart des pays et donne à la science une unité de temps standard. Le temps solaire moyen a été mis en pratique à Genève en 1780, en Angleterre en 1792, à Berlin en 1810, et à Paris en 1816.

Une petite mise au point s'impose sur la différence entre le jour astronomique et le jour civil. Tous deux ont 24 heures (moyennes), mais les origines sont différentes : le jour astronomique commence à midi, le jour civil qui porte la même date commence 12 heures plus tard, à minuit, le changement de date ayant lieu de jour pour les astronomes et de nuit pour le reste du peuple. Une unification a été tentée à plusieurs reprises au XIX^{ème} siècle, mais elle n'a pas abouti.

LE PROBLEME DU RALENTISSEMENT DE LA TERRE

La rotation de la Terre est supposée constante par Copernic. De toute façon, les insuffisances des théories planétaires et les imprécisions des horloges n'auraient pas pu démontrer le contraire.

Kepler et Newton font des allusions au fait que la rotation de la Terre n'est peut-être pas uniforme. En 1693, Halley dispose de tables du Soleil et de la Lune et recherche des observations d'éclipses anciennes. Cela ne colle pas du tout avec ses calculs...

En 1767 Lalande admet que la rotation est uniforme. On ne saurait pas mesurer sa non uniformité : "il pourrait y avoir un décalage de 2 à 3 secondes par an, on ne le verrait pas".

Vingt ans plus tard, Laplace explique l'accélération de la Lune par la variation de l'excentricité de l'orbite terrestre et Kant pense que ce sont les marées qui ralentissent la terre.

En 1870, l'américain Newcombe, utilise les tables de Hansen pour calculer la position de la

Lune. Si les calculs coïncident sur la période 1750-1850, le décalage atteint 8 s en 1870. Il y a une anomalie à expliquer. Il vient en France, durant la Commune, à l'Observatoire de Paris pour consulter les rapports d'occultations d'étoiles par la Lune. Il pense que les écarts peuvent être dus à la rotation de la Terre. Pour le prouver, il faut montrer que les positions des planètes subissent le même écart. Sinon, il faudra remettre en cause les principes de la mécanique. On se remet donc à refaire tous les calculs des positions de planète. Le travail est gigantesque, il aboutit en 1926, 17 ans après la mort de Newcombe.

L'hypothèse est confirmée. Le ralentissement est de l'ordre de 2,3 milliseconde par siècle. Il est lié à l'éloignement de la Lune et à l'allongement de la durée du jour par effet de marées. Ceci donne un cumul de 45 secondes sur 100 ans, 1 h 15 sur 1000 ans et 5 heures sur 2000 ans. Il y a 300 millions d'années, un jour durait 22 h. On conserve la Terre comme garde-temps car le ralentissement séculaire semble régulier et prévisible. C'est une correction de plus à ajouter dans la détermination du temps.

UN TEMPS POUR TOUS

Avec le développement des chemins de fer, et l'emploi du télégraphe, la nécessité d'un temps unique pour l'ensemble du pays se fait sentir. Les heures locales, qui diffèrent d'une ville à l'autre, d'une région à l'autre ne sont plus adaptées. Au même instant, deux pendules situées Brest et à Strasbourg ont un décalage de près d'une heure.

Le 14 mars 1891, il est décidé, de mettre toutes les pendules de France à la même heure. L'heure légale en métropole et en Algérie est l'heure, temps moyen de Paris (sous entendu : du méridien de l'Observatoire de Paris). Le problème reste posé quant aux pays voisins : par exemple, on ne compte pas moins de cinq heures officielles différentes sur les bords du lac de Constance...

Le 9 mars 1911, est décidé le découpage en 24 fuseaux horaires. Chaque fuseau a une largeur de 15°. Le méridien choisi comme origine est celui de Greenwich (observatoire fondé en 1675), dont l'antiméridien traverse très peu de terres émergées. Le premier fuseau est à cheval sur le méridien origine. Le temps civil de Greenwich est dit TEMPS UNIVERSEL. La France adopte à contrecœur l'heure du méridien de Greenwich, en retardant toutes ses horloges de 9 minutes 21 s, écart en longitude entre les observatoires de Paris et Greenwich.

En 1912, c'est la première diffusion des signaux horaires depuis la Tour Eiffel et en 1933, c'est la création du Bureau International de l'heure (BIH) et de l'horloge parlante : "ODEON 84 00" remplacée aujourd'hui par le 36 99...

L'ABANDON DE LA TERRE

En 1937, Stokyo met en évidence le fait que la Terre ne tourne pas rond. On s'en doutait un peu. Il devient nécessaire de s'incliner devant la preuve des inégalités de la période de rotation de la Terre, atteignant parfois 10^{-7} en valeurs relatives sur quelques années.

Ces inégalités sont la résultante de 4 effets :

- le ralentissement séculaire, progressif, correspondant à l'énergie cinétique perdue par effet de marées.
- les variations saisonnières : on estime actuellement qu'elles ont une amplitude de 0,001 seconde et que la vitesse est maximale en été.
- des termes périodiques d'origine lunaire ou solaire
- des fluctuations irrégulières expliquées par des phénomènes de couplage entre le noyau

et le manteau de la Terre: les écarts les plus importants vont de 0,002 à 0,005 secondes par jour !

Les variations étant chaotiques, donc imprévisibles, on ne peut les corriger qu'à posteriori, il faut donc rejeter la Terre comme référence et abandonner la traditionnelle définition de la seconde, liée à la rotation de la Terre, comme étant la 1/86400^{ème} partie du jour solaire moyen.

LA SECONDE DES EPHEMERIDES:

La seconde des éphémérides, adoptée en 1955, est liée la durée de l'année, donc à la révolution de la Terre autour du Soleil. La seconde est la 1/31 556 925,9747^{ème} partie de l'année tropique 1900. Le Temps des Ephémérides est utilisé par les astronomes depuis 1952.

LA SECONDE ATOMIQUE

En 1967, l'utilisation des horloges atomiques permet un gain formidable de 8 décimales d'un coup. C'est aussi l'année de la découverte du premier pulsar, dans la constellation du Petit Renard, par le radiotélescope de Cambridge.

La seconde atomique, adoptée en 1977 n'a plus rien à voir avec les astres. D'abord définie par rapport à la période de vibration de l'atome d'azote dans l'ammoniac, elle est actuellement définie comme la période de transition entre les 2 niveaux hyperfins (F4, m=0 et F3, m=0) de l'état fondamental de l'atome de césium 133

1 seconde = 9 192 631 770 périodes

Une dernière remarque : 1 s 1937 = 1 s 1993... mais l'année n'en comporte pas le même nombre !

CONCLUSION

Pendant des centaines d'année, le Soleil a régné sur la mesure du temps, il fallait simuler son mouvement journalier. Puis un jour de 1816, il fut remisé car la trajectoire de la Terre le rendait trop capricieux, alors pendant quelques dizaines d'années on s'évertua à simuler la rotation de la Terre sur elle même, jusqu'à ce qu'on se rende compte en 1937, qu'elle aussi était bien trop polissonne. Pour le moment l'atome est, par ses vibrations, le maître du temps.

Mais les récentes découvertes faites sur les pulsars millisecondes, ces étoiles dégénérées qui tournent sur elle même avec des périodes d'une stabilité époustouflante, à faire vibrer les horloges atomiques, laissent penser que les prochaines étapes dans l'évolution de la mesure du temps se feront à nouveau à partir de l'observation du ciel. Les pulsars seront ils les horloges du troisième millénaire?

BIBLIOGRAPHIE

- Histoire du temps de Jacques ATTALI . Livre de poche
- L'invention du temps de Jean MATRICON et Julien ROUMETTE
Editions de la Cité des Sciences et de l'Industrie
- Du gnomon à la montre par TARDY chez Tardy, surtout pour les dates et des illustrations.
- Evolution de l'horlogerie de Lucien BALVAY. Gauthier-Villars
- Annuaire du bureau des longitudes de 1914. Communication de BIGOURDAN
- Montres et Horloges chez Gründ

BILLARD COSMIQUE...

Dans *Autour de la Lune* (1870), les intrépides astronautes ont à peine quitté la Terre que leurs aventures commencent: leur obus, qui en verra d'autres, manque être heurté par un bloc de rochers en orbite.

"Au moment où Barbicane allait abandonner la vitre pour procéder au dégagement du hublot opposé, son attention fut attirée par l'approche d'un objet brillant. C'était un disque énorme dont les colossales dimensions ne pouvaient être appréciées. Sa face tournée vers la Terre s'éclairait vivement. On eût dit une petite Lune qui réfléchissait la lumière de la grande..." [1]

On relèvera au passage le réalisme de la description: faute de repères familiers, les passagers ne peuvent effectivement plus apprécier les dimensions de l'objet. Ayant perdu toute impression de relief, ils le voient comme un disque violemment éclairé. Un peu plus loin, l'auteur remarque que "... par une singulière illusion d'optique, il semblait que le projectile se précipitât au-devant de [l'obus]." Or des astronautes observant un tir de fusée alors qu'ils étaient en orbite rapportent avoir effectivement éprouvé la même illusion. On comprend donc aisément la terreur des voyageurs... Mais cet instant d'émotion passé, le savant Barbicane, président du Gun-Club de Baltimore, identifie très vite le caillou importun.

"Bon voyage, s'écria Michel en poussant un soupir de satisfaction. [...] Ah çà! qu'est-ce que ce globe prétentieux qui a failli nous heurter?"

— *Je le sais, répondit Barbicane.*

— *Parbleu! tu sais tout.*

— *C'est, dit Barbicane, un simple bolide, mais un bolide énorme que l'attraction a retenu à l'état de satellite.*

— *Est-il possible! s'écria Michel Ardan. La terre a donc deux Lunes comme Neptune?"*

— *Oui, mon ami, deux Lunes, bien qu'elle passe pour n'en posséder qu'une."* [2]

Cette rencontre est intéressante à plus d'un titre et pas seulement parce que cette presque-collision va légèrement dévier la trajectoire du boulet, artifice au demeurant bien commode puisqu'elle permettra à l'auteur de justifier le retour des voyageurs sur la Terre. Passons sur la remarque du sympathique Michel Ardan qui accorde deux satellites à Neptune. Comme on le sait, l'existence de la planète fut établie par Le Verrier en 1845 (et indépendamment par Adams) et cette deuxième découverte, survenant moins de 65 ans après celle d'Uranus par Herschel, eut un extraordinaire retentissement, d'autant plus qu'entre temps on avait aussi découvert les premières petites planètes. Ces découvertes paraissaient confirmer la fameuse loi de Titius-Bode et convaincus qu'il existait encore bien d'autres planètes à découvrir (ce qui en soi était une hypothèse tout à fait licite), les astronomes scrutèrent le ciel mais en vain. On rechercha ainsi vainement la planète Vulcain, supposée circuler entre le Soleil et Mercure.

De la même manière, la recherche de satellites inconnus était dans l'air du temps. On pensait *a priori* que Neptune devait posséder des satellites et on se mit à leur recherche. Lassell (1799-1880), qui avait déjà découvert deux des satellites d'Uranus, réussit à apercevoir un des satellites de Neptune le 10 octobre 1846, découverte confirmée par W.Struve. Il crut en découvrir un autre un peu plus tard mais cela ne fut pas confirmé [3]. C'est donc à tort que Michel Ardan crédite Neptune de deux satellites car le second ne fut pas découvert avant 1949, par G.P. Kuiper. Première constatation: le courageux Français connaît très mal l'astronomie, ou plus exactement, Jules Verne a fait confiance à une source un peu obsolète.

Mais qu'en est-il de ce "bolide", satellite de la Terre, dont Barbicane nous dit qu'il gravite à une altitude de 8 140 kilomètres (c'est à dire à une distance d'un peu plus de 14 500 km)? Cette fois, Jules Verne cite sa source: un astronome français, Petit, qui "en tenant compte de certaines perturbations [...] a su déterminer l'existence de ce second satellite et en calculer les éléments." [4] En fait, l'auteur reprend dans ce passage une hypothèse maintenant oubliée. Vers le milieu du XIX^e siècle, Petit, alors Directeur de l'Observatoire de Toulouse, avait remarqué que certains météores brillants ne faisaient apparemment que traverser notre atmosphère sans tomber sur terre. Il fit l'hypothèse que les objets responsables de ces apparitions étaient peut-être des

satellites de notre planète circulant sur des orbites basses souvent fortement elliptiques. A partir d'observations faites par quelques témoins, il crut pouvoir reconstituer les trajectoires de plusieurs météores lumineux observés entre 1837 et 1851.

Ses conclusions firent l'objet de plusieurs notes à l'Académie des sciences publiées en divers endroits des *Comptes-rendus hebdomadaires* de la docte assemblée [5]. Les astronomes ne furent guère convaincus par ces multiples communications. Le Verrier et quelques autres suggérèrent que Petit refasse ses calculs en prenant en compte la résistance de l'air [6]. Finalement, Le Verrier fit lire une note dans laquelle il réfutait totalement les conclusions de Petit [7]. On lui reprochait surtout de fonder ses calculs sur des observations peu fiables, recueillies auprès de témoins de hasard surpris par l'apparition soudaine d'un phénomène brillant et inhabituel. Il y avait donc une très grande incertitude sur la vitesse, paramètre essentiel. De plus, Petit négligeait absolument les effets du freinage atmosphérique. Les hypothèses de l'astronome toulousain sombrèrent donc lentement dans l'oubli.

Toujours par la bouche de Barbicane, nous apprenons que la période de révolution du satellite qui a failli heurter le boulet est $T = 3\text{h } 20\text{ m}$. Au moment de l'incident, il se trouvait à 8140 km de la surface de la Terre, donc à 14518 km de son centre. Nous supposons, ce qui paraît raisonnable, que cette valeur représente a , demi-grand axe de l'orbite. Malheureusement, les valeurs de a et de T paraissent incompatibles si on applique la relation fondamentale:

$$a^3/T^2 = (G/4\pi) \times (M_{\text{Terre}} + M_{\text{sat}})$$

où $G = 6,5 \times 10^{-11}$ (constante gravitationnelle), $M_{\text{Terre}} = 6 \times 10^{24}\text{kg}$ et M_{sat} , la masse du satellite que l'on peut évidemment négliger devant M_{Terre} . Si $a = 14,5 \times 10^6\text{m}$, alors $T = 4,81\text{h}$. Si par contre $T = 3,33\text{ h}$, alors $a = 10286\text{ km}$. On pourrait objecter que le satellite circule sur une orbite fortement elliptique, comme Petit prétendait le démontrer et que la distance donnée par Barbicane n'est pas en fait le demi-grand axe. C'est très peu probable car on ne voit pas comment l'ingénieur aurait pu donner sans calcul préalable la valeur du rayon vecteur à l'instant de la quasi-collision.

Une fois de plus, Jules Verne est pris en défaut bien que les valeurs de a et de T , prises séparément, soient tout à fait compatibles avec les paramètres des diverses orbites calculées par Petit. Ou bien les sources de Jules Verne étaient peu fiables, ou bien il aura été trahi par sa mémoire, mêlant les éléments de deux objets différents. On dit souvent que les calculs sur lesquels s'appuie le trajet de l'obus Terre-Lune avaient été vérifiés "par des astronomes" (un cousin de Jules Verne?). C'est assez peu probable et dans ce cas particulier, l'élève Verne aurait ramassé un superbe zéro sur un problème élémentaire du baccalauréat: l'orbite képlerienne d'un satellite. Peu importe car les aventures des premiers hommes à avoir été satellisés autour de la Lune n'en continueront pas moins à nous faire rêver, de génération en génération. De plus, cette rencontre fortuite avec un caillou céleste aura permis de rappeler un épisode intéressant (et oublié) de l'histoire de l'astronomie.

Jacques Vialle

Références

- [1] Verne, J., *Autour de la Lune*, Paris, 1870, 1^{re} partie, c.11
- [2] Verne, J., *ibid.*
- [3] Lecouturier, M., *Panorama des mondes - Astronomie planétaire*, Paris, 1858
- [4] Verne, J., *ibid.*
- [5] *Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des sciences*, **XXIII**, 1846, p.704; **XXXII**, 1851, p.561; **XLII**, 1856, p.822
- [6] Remarques à la suite de Petit, F., "Sur le bolide du 21 mars 1846, et sur les conséquences qui sembleraient devoir résulter de son apparition", in *Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences*, **XXIII**, 1846, p.704
- [7] Le Verrier, U.: "Remarques à l'occasion de la dernière communication de M.Petit sur les bolides", in *Comptes-rendus hebdomadaires de l'Académie des Sciences*, **XXXII**, 1851, p.488

Avant le 2 septembre 1976 de Grenoble

Après avoir rappelé comment le CLEA naquit, le 2 septembre 1976, à Grenoble (cf CAHIERS CLAIRAUT 75, p.16), j'ai écrit : "Alors, avant, rien ? Dire non serait injuste car il y eut diverses tentatives mais elles furent sans suites durables..." Je croyais avoir convenablement pesé mes mots alors que ce sont justement des suites durables qui ont permis à des tentatives diverses d'aboutir à la situation qu'a trouvée le CLEA et qu'il s'efforce d'améliorer.

Jeanine Chappelet a raison de me rappeler que dans les Ecoles Normales, les futurs instituteurs et institutrices suivaient en troisième année un cours de COSMOGRAPHIE qui comportait des notions sur le repérage dans l'espace et le temps, sur l'inégalité des jours et des nuits, sur les lois de Kepler et la gravitation universelle, sur les phases de la Lune et sur les éclipses. Cet enseignement, qui touchait aussi tous les bacheliers, restait certes trop livresque, ne comportait aucun exercice pratique d'observation, mais il fournissait des bases solides à qui les prenait au sérieux. Pour beaucoup de jeunes ayant participé aux activités "nature" des ECLAIREURS DE FRANCE, des notions pratiques d'orientation étaient acquises sur le terrain complétant la formation théorique du cours de cosmographie.

Sous le prétexte que, depuis un demi siècle, de grands projets de réforme de l'enseignement ont souvent abouti à des caricatures de réforme, on risque de méconnaître des réalisations comme celles du Directeur Monod de l'enseignement du second degré au MEN ; c'est lui qui fut à l'origine de la création des CAHIERS PEDAGOGIQUES qui devaient stimuler les expériences de "classes nouvelles". Dans ces classes expérimentales, la transdisciplinarité était reine et si nous avions la curiosité et la patience d'inventorier les archives de ces classes, nous trouverions sans doute de bonnes idées d'activités astronomiques en Sixième ou en Troisième. C'est d'ailleurs ce même Monod dont les mérites furent mal appréciés par les ministres successifs, qui fut aussi, je crois à l'origine de la création des CEMEA (Centre d'Entraînement aux Méthodes d'Education Active). Un des buts des CEMEA était la formation des animateurs de colonies de vacances, manifestation de l'idée "commencer par le commencement".

Jeanine Chappelet a gardé le souvenir du stage CEMEA de Caen, en 1957, au cours duquel Pierre Bourge enthousiasma les 800 stagiaires présents. Ce fut l'origine des stages "CIEL ET ESPACE" des CEMEA assurés d'abord par Jean Fulerand puis par Jeanine Chappelet elle-même. Mais, précise notre amie, c'est à Pierre Bourge qu'il faut rendre hommage. Son souci de fournir des moyens pratiques de construire une petite lunette, ses livres, en particulier "A l'affut des étoiles", ont été à l'origine de nombreuses réalisations qui essaimèrent dans toutes les régions, Francis Minot dans les Ardennes, Nicole Sanglerat dans la région parisienne,

* *

Finalement, quand le colloque de Grenoble émit l'idée commencer par le commencement, former les enseignants, quand fut décidé et organisé le stage de Lanslebourg (1977) et quand fut créé le CLEA, se regroupèrent la plupart de ceux qui avaient jusque là milité en ordre plus dispersé. Je reste convaincu que, dans son principe, le CLEA a pris le problème de l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux par le bon bout. Oui, que de la Maternelle à l'Université, il y ait une culture astronomique au menu des petits comme des grands élèves. Et pour que ce menu soit bien actualisé, que ce soit de l'astronomie à la sauce d'aujourd'hui préparé par des cuisiniers au fait des recettes de tous les temps, prêts à adopter les méthodes de demain. Penser donc toujours à la formation des enseignants. Commencer par le commencement.

G.W.

P.S. – En bavardant sur de vieux souvenirs, je parlais du 2 octobre 1976. L'ami Victor Tryoën me reprend à juste titre, c'était bien le 2 septembre, le 2 octobre les enseignants étaient en classe mais le 5 septembre 1976, au cours de l'opération Vicking, un module grattait la surface de Mars pour y chercher des traces de vie... Dès qu'on remue des souvenirs sur l'histoire du CLEA, on retrouve des bonnes nouvelles de l'astronomie d'aujourd'hui.

ETUDE DES RETROGRADATIONS A L'AIDE D'UN GRAPHEUR

Introduction:

Les logiciels traceurs de courbes - celui utilisé ici GRAPHIX est déjà ancien- sont des outils assez puissants d'une mise en œuvre **simple** et **directe**: ils permettent donc à l'élève de s'appuyer sur l'ordinateur de façon active et raisonnablement autonome, sans bases préalables pour résoudre des problèmes physiquement accessibles mais techniquement plus délicats.

La présente note donne un aperçu de leur utilisation dans le cadre de l'option SXP de 1^{ère} lors de l'étude des rétrogradations. Il ne s'agit évidemment que d'un outil complémentaire, qui ne dispense en aucun cas d'« observations » (merci à D. Toussaint et au CLEA pour la série de diapos!), du travail sur calque(...) et de l'utilisation de logiciels plus spécifiques (CLEASTRO par exemple merci à J.P. Rosenthal) afin de **discuter les résultats obtenus**.

Hypothèses: Les trajectoires des planètes dans le référentiel héliocentrique R_s seront supposées circulaires -centrées sur le Soleil-, coplanaires et parcourues uniformément (période sidérale T_p , vitesse angulaire ω_p) dans le sens direct.

1-tracé des boucles de rétrogradation...

1-1-mise en équation et tracé de la trajectoire de Mars dans le référentiel géocentrique R_g :

On supposera avoir à $t=0$ la disposition de la figure 1 (T_0, M_0)

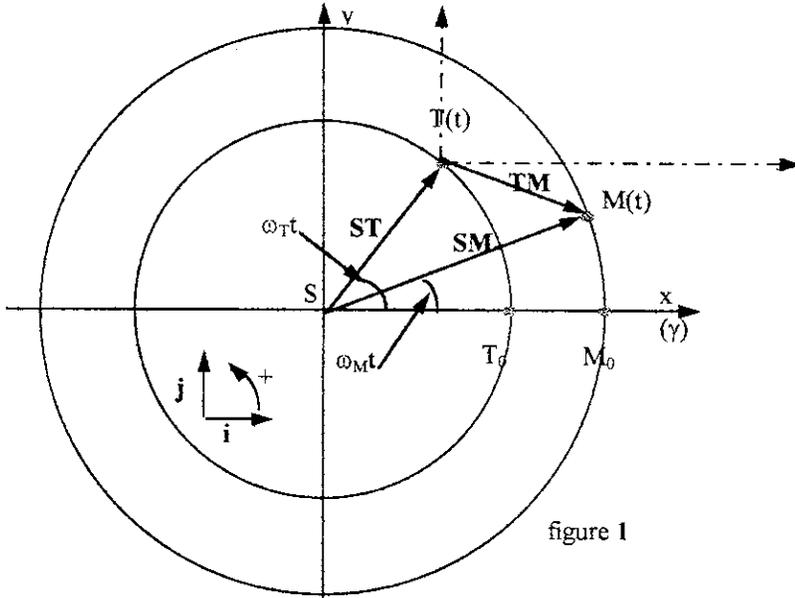


figure 1

Il vient dans R_g :

$$\text{ST} \begin{cases} a_T \cos(\omega_T t) = a_T \cos\left(\frac{2\pi}{T_T} t\right) \\ a_T \sin(\omega_T t) = a_T \sin\left(\frac{2\pi}{T_T} t\right) \end{cases} \quad \|\text{ST}\| = a_T$$

$$\text{SM} \begin{cases} a_M \cos(\omega_M t) = a_M \cos\left(\frac{2\pi}{T_M} t\right) \\ a_M \sin(\omega_M t) = a_M \sin\left(\frac{2\pi}{T_M} t\right) \end{cases} \quad \|\text{SM}\| = a_M$$

Par conséquent dans R_g en remarquant que les vecteurs de base sont toujours i et j , il vient:

$$\text{TM} = \text{SM} - \text{ST} = \begin{cases} x_M = a_M \cos\left(\frac{2\pi}{T_M} t\right) - a_T \cos\left(\frac{2\pi}{T_T} t\right) \\ y_M = a_M \sin\left(\frac{2\pi}{T_M} t\right) - a_T \sin\left(\frac{2\pi}{T_T} t\right) \end{cases}$$

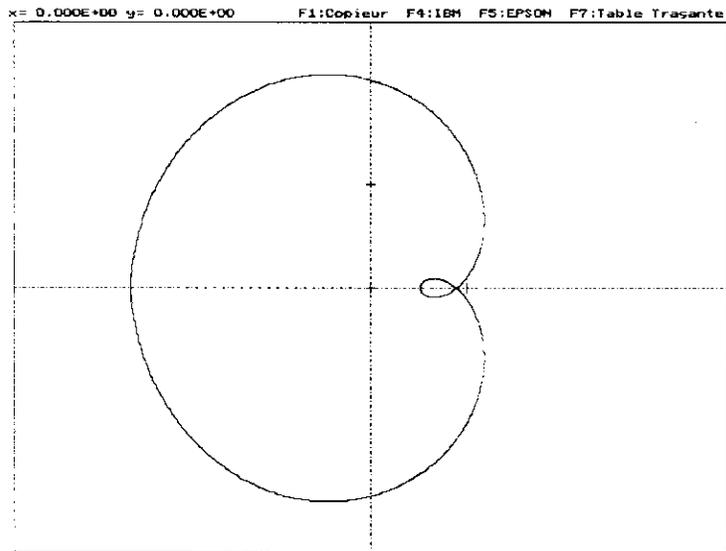
Il ne reste plus alors qu'à faire tracer la trajectoire par le traceur GRAPHIX.

remarque: on obtiendra facilement le tracé des trajectoires dans le référentiel héliocentrique; Ce peut-être une première étape intéressante pour les élèves...

aperçu de l'écran d'entrée des données ...figurent en gras les informations à fournir et les paramètres modifiables.

Courbe numéro: 1	18/26	C/B	Insertion	Coordonnées Paramétriques
Ensemble d'étude: [-360,+360]				
x(t)= 1.52*cos(2*pi*t/687)-cos(2*pi*t/365.25)				
y(t)= 1.52*sin(2*pi*t/687)-sin(2*pi*t/365.25)				
unités(cm)	Ox:3.5	Oy:3.5	couleur:1	trait:1 hachure:0 pas:1
Position de l'origine en cm à partir du coin en bas à gauche: xo= 13 yo=9				
Longueur des axes en cm: xpositif= 13 xnégatif= 13 ypositif= 9 ynégatif= 9				

et copie de l'écran graphique



1-2-...et applications diverses:

La méthode ayant été exposée on peut proposer le menu d'activité suivant (à titre indicatif):

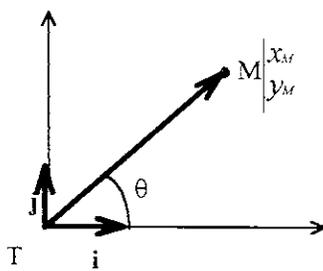
- 1- Les rétrogradations se reproduisent-t-elles toujours dans une même constellation?
- 2- Au bout de combien de temps une rétrogradation se produit-elle sensiblement au même «endroit»?

Interpréter la citation suivante :« Mars, Jupiter et Saturne ont le plus d'éclat lors de leur mouvement rétrograde, alors qu'elles sont en opposition avec le Soleil. **Toutefois, leur éclat maximum varie au cours de plusieurs années.** Cette variation d'éclat est la plus marquée chez Mars; la planète est plus brillante quand elle est en opposition avec le Soleil soit en août ou en septembre. » (Les mouvements célestes, série HPP) (on sera amené à discuter les hypothèses de départ pour justifier de la variation d'éclat)

- 3- Examiner le cas d'une planète inférieure, Vénus par exemple
- 4- Où et quand se produira la prochaine rétrogradation?

2- Détermination de la durée de la boucle de rétrogradation, des stations...

2-1 évaluation de la durée de la boucle de rétrogradation:



Les hypothèses sont les mêmes qu'au 1.

On appelle θ l'angle (i, **TM**).

Il vient alors pour θ compris entre -90° et $+90^\circ(\dots)$:

$$\tan(\theta) = \frac{y_M(t)}{x_M(t)} \text{ puis } (\dots) \quad \theta(t)(\text{en}^\circ) = (360/2\pi) \cdot \arctan\left(\frac{y_M(t)}{x_M(t)}\right)$$

Le tracé de $\theta(t)$ se fait à l'aide de GRAPHIX et l'on interprète ...

Suivant la période de l'année on peut aussi tracer la fonction dérivée pour affiner l'évaluation des dates correspondant au maximum et au minimum de $\theta(t)$.

aperçu de l'écran d'entrée des données: tracé de $\theta(t)$

remarque: $x1 = x(t)$; $y1 = y(t)$ (courbe 1 c.f. 1-1)

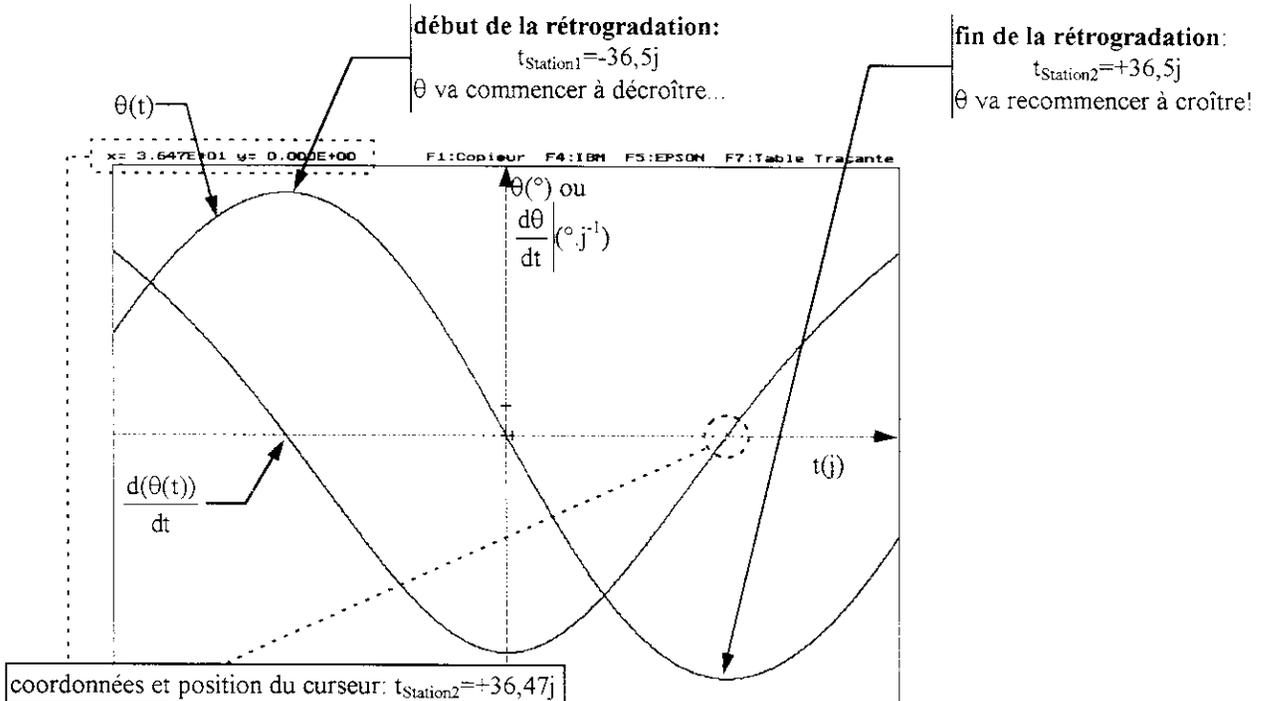
Courbe numéro: 2	18/26	C/B	Insertion	Coordonnées Cartésiennes
Ensemble d'étude: [-70,+70]				
y(t)= arctan(y1/x1)*360/(2*π)				

aperçu de l'écran d'entrée des données: tracé de $\frac{d\theta}{dt}$

remarque: $y_2 = y(t)$ (courbe 2 ci-dessus)

Courbe numéro: 3	18/26	C/B	Insertion	Coordonnées Cartésiennes
Ensemble d'étude: [-70,+70]				
$y(t) = \text{der}(y_2)$				

et commentaire de la copie d'écran obtenue lors du tracé



2-2 ...et applications diverses:

Comme précédemment on peut proposer un menu d'activité, par exemple:

- a- étude de la variation de la durée de rétrogradation d'une planète en fonction de son éloignement du Soleil
- b- adaptation à la situation de la rétrogradation de Mars dans le Taureau (hiver 1990-1991) (diapos CLEA)

présentation succincte du traitement du a

aperçu des écrans d'entrée des données:

Courbe numéro: 1	18/26	C/B	Insertion	Coordonnées Paramétriques
Ensemble d'étude: [-100,+100]				
$x(t) = (k/365)^{2/3} \cos(2\pi t/k) - \cos(2\pi t/365)$				
$y(t) = (k/365)^{2/3} \sin(2\pi t/k) - \sin(2\pi t/365)$				

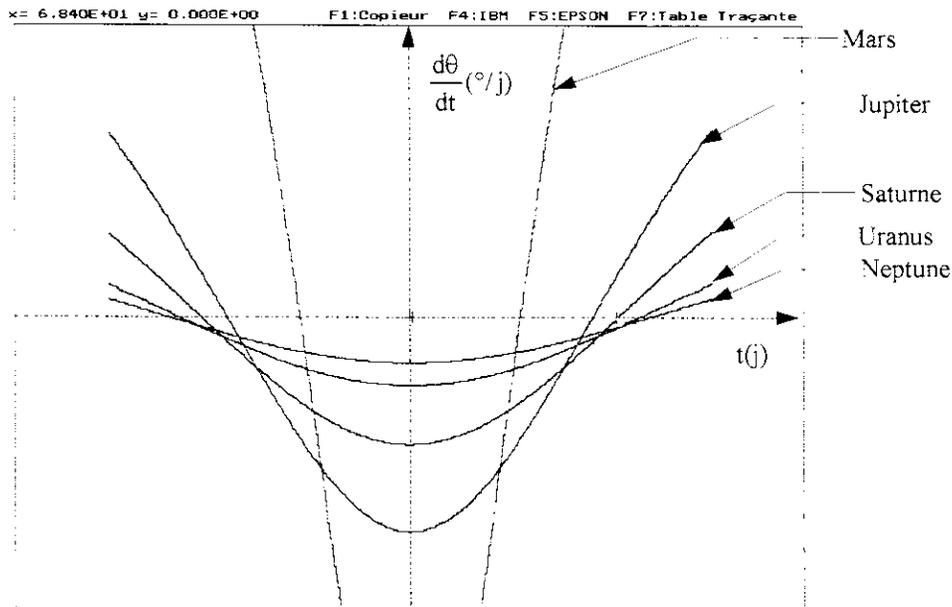
k 0= 687	k 5=	k 10=	k 15=	k 20=
k 1= 4330	k 6=	k 11=	k 16=	k 21=
k 2= 10735	k 7=	k 12=	k 17=	k 22=
k 3= 30667	k 8=	k 13=	k 18=	k 23=
k 4= 60148	k 9=	k 14=	k 19=	k 24=

les écrans relatifs aux courbes 2 et 3 sont identiques à ceux présentés au 2-1 (Ensemble d'étude: [-100,+100])

commentaires: le paramètre k est la période de révolution sidérale en jour, liée au rayon de l'orbite en U.A. par Képler 3

écrite sous la forme $\frac{a_p^3}{(T_p/365)^2} = \frac{(1U.A.)^3}{(1an)^2}$; On reconnaîtra dans l'ordre les périodes de révolution sidérale de Mars,

Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune (...). Les tracés de $\frac{d\theta}{dt}$ conduisent à des durées de rétrogradation de 73j;121j;138j;153j;160j environ. La copie d'écran (courbe 3) est donnée ci-dessous:



3- Complément: rétrogradation et composition des vecteurs-vitesses:

Cette question abordée récemment dans les Cahiers (n°75- p 33 article de J.P. Rosenthal) ne sera donc reprise en détail ici.

Pour Mars (par exemple), la composition des vecteurs-vitesses conduit à $\mathbf{v}_M|_{R_G} = \mathbf{v}_M|_{R_S} + \underbrace{\mathbf{v}_{R_S R_G}}_{\text{i.e. } -\mathbf{v}_T|_{R_S}} \quad (1)$

Il est intéressant d'appliquer (1) lors d'une station, les résultats du 2-1 permettant de positionner les planètes sur leurs orbites: $(\mathbf{i}, \mathbf{ST}) = \omega_T \cdot t_{\text{station1}}$ avec $t_{\text{station1}} = -36,5j$.

$$(\mathbf{i}, \mathbf{SM}) = \omega_M \cdot t_{\text{station1}}$$

La construction de $\mathbf{v}_M(t_{\text{station1}})|_{R_G}$ montre que le vecteur-vitesse est radial (donc suivant la ligne de visée)... ce qui se traduit par un « arrêt » de la planète sur la voûte céleste. On pourra compléter cette étude par la construction de $\mathbf{v}_M(t)|_{R_G}$ avant la première station puis après: la décomposition en composante radiale et orthoradiale étant également instructive...

Frédéric Besson

“Astronomy On Line” : premier bilan

Note de la Rédaction : A la suite de la présentation qu'elle avait faite lors de l'Assemblée générale d'Orsay, nous avons demandé à Josée Sert, notre représentante Nationale auprès de l'Association Européenne pour l'Education en Astronomie (EAAE), un bilan de l'opération “Astronomy on Line”. Nous la publions ci-après, suivie d'un second article, qui fait le point sur le développement de l'Association Européenne.

L'opération s'est terminée par une phase très active lors de la semaine du 18 Novembre 1996 : les observations demandées ont été faites et les résultats transmis aux groupes pour exploitation et mis sur le réseau ; les astronomes ont répondu, parfois immédiatement, aux questions posées par les groupes ; des échanges ont eu lieu au sujet de questions regroupées par thèmes...

Depuis, quelques compte-rendus sur les projets en collaboration ont été publiés (éclipse et distance Terre-Lune, mesure du rayon de la Terre avec la méthode d'Eratosthène par exemple) révélant une participation importante de groupes de divers pays (notamment le Danemark et la Grèce), et un premier bilan a été tiré du questionnaire final par J. Multisilta, chercheur en Sciences de l'Education : les groupes qui ont répondu ont affirmé en grande majorité avoir trouvé facilement des activités correspondant à leur niveau, avoir appris à utiliser Internet et attribuent une grande importance au rôle du responsable du groupe, en général un professeur.

Du côté français, les retours que nous avons eus font tout d'abord état du problème de la date de la manifestation : placée bien trop tôt dans l'année scolaire, elle n'a pu rassembler que des groupes récemment constitués, souvent avec un bagage astronomique restreint puisqu'après la rentrée scolaire, ils avaient eu très peu le temps de fonctionner ; d'autre part, de nombreux groupes n'ont pu être raccordés à temps à Internet (le partenariat avec France-Télécom a mis tellement de temps à entrer en pratique que la plupart de ceux qui avaient prévu de l'utiliser n'étaient pas raccordés à la veille de la semaine européenne et n'ont pas pu s'inscrire) et pour ceux qui ont pu l'être à temps, le temps a manqué pour se familiariser et utiliser à plein les possibilités offertes. Cela explique que souvent les professeurs animateurs des groupes aient ressenti une impression de superficialité : les contacts avec d'autres groupes n'allaient pas très loin (certes, nos élèves ont pratiqué l'Anglais et eu des échanges sympathiques...), les questions aux astronomes restaient souvent très générales, par exemple, mais il ne pouvait en être vraiment autrement sans un travail approfondi préalable en Astronomie, ce qui n'était le cas qu'exceptionnellement. Cependant, les élèves ont été très intéressés et affirmaient avoir envie de continuer, non seulement à utiliser Internet, mais aussi à en apprendre davantage en Astronomie.

Confirmation donc du fait que le travail sur écran n'est réellement efficace que s'il y a un travail approfondi en Astronomie derrière, en classe ou en club : observations, interprétations, mises en place et utilisation de modèles, acquisition d'outils théoriques, etc... les ressources et les possibilités offertes par le serveur AOL peuvent alors être utilisées à fond et apporter des développements ou des ouvertures intéressants.

Nous tirons donc un bilan positif de cette expérience : il n'était pas si évident de mettre en place un tel projet en moins de six mois, le nombre de participants (plus de 700 groupes) fut inespéré, les défauts soulignés plus haut seront à prendre en compte pour les projets futurs... Enfin, c'est un atout important pour faire connaître l'EAAE (un article a paru dans "Sky and Telescope") et une expérience très enrichissante pour sa première année d'existence.

Et après ?

L'opération "Astronomy On Line" était prévue pour s'arrêter à la fin de la Semaine Européenne de la Culture Scientifique et Technique. Mais déjà au moment de mettre en place les dernières activités, il paraissait impensable d'avoir fait tout ce travail, d'avoir mis en place toutes ces possibilités, d'avoir obtenu une si forte participation, pour fermer le serveur le 24 Novembre 1996 à minuit, alors qu'une comète passait encore au-dessus de nos têtes européennes, que le Soleil et la Lune prenaient toujours date pour des rendez-vous plus ou moins proches... Pourquoi arrêter tous ces échanges et ce travail en commun en si bon chemin ?

L'ESO a d'une part décidé de maintenir ouvertes sur son serveur des possibilités : les exercices sont toujours là, les projets en collaboration aussi, avec tous les liens indiqués maintenus, les forums de débat sont toujours ouverts, et l'on a de nouveau la possibilité de s'inscrire (ce qui peut être intéressant pour entrer en contact avec des groupes travaillant sur le même sujet, ou à qui l'on voudrait proposer des activités communes).

Une des possibilités envisagées pour continuer de manière plus dynamique était de construire un réseau thématique qui pourrait être soutenu financièrement par la Communauté Européenne : un projet a été déposé en ce sens, nous attendons une réponse. Il serait intéressant de développer ce qui existe déjà sur le serveur dans deux directions :

- des possibilités permanentes d'entrer en contact avec d'autres groupes, de participer à des projets en collaboration, d'obtenir des documents, de pouvoir poser des questions à des astronomes, d'avoir accès à des exercices ou des propositions d'activités...

- à certains moments, comme par exemple la Semaine Européenne de la Culture Scientifique et Technique, ou à l'occasion d'un événement astronomique extraordinaire, se voir offrir des possibilités exceptionnelles, comme par exemple des heures d'observation sur des instruments professionnels dans des observatoires européens.

(A suivre...)

Josée SERT

Représentante Française auprès de EAAE

Où en est l'EAAE ?

Les formalités de déclaration officielle de l'Association ont pris beaucoup de temps, c'est pour quoi il n'y a pas eu de campagne d'adhésion pour 1996. Plusieurs adhésions individuelles ont été enregistrées néanmoins, et plusieurs associations sont aussi devenues membres de l'EAAE : Géospace d'Aniane, l'Association des Amis du Planétarium de Strasbourg, l'Association des Planétariums de Langue Française et bien sûr le CLEA. La moitié de l'argent des cotisations revient à la trésorerie européenne ; le reste a suffi largement à couvrir les frais, de courrier surtout, car à partir de la fin Juin, l'EAAE s'est complètement consacrée à "Astronomy On Line" et les frais engagés ont été pris en compte dans le budget de cette opération.

Un compte est maintenant ouvert pour la France, Michel Van Haute va assurer la charge de trésorier. Je demande donc à tous ceux qui avaient adhéré en 1996 de bien vouloir renouveler leur cotisation pour 1997 (adhésion individuelle : 70 F, associations : 350 F, à faire auprès de J. Sert, 1 bis, rue de Belfort 31000-Toulouse) ; ceux qui ont versé leur cotisation lors de l'Assemblée Générale du CLEA l'ont fait pour l'année 1997. Et bien sûr, les nouveaux adhérents seront les bienvenus... N'oubliez pas, lorsque vous adhérez, de signaler si vous avez un "e-mail" : l'information par courrier électronique peut être plus fréquente et plus rapide, elle est quasiment gratuite, et ne nécessite pas des heures pour photocopier, mettre sous enveloppe, poster...

Une réunion des membres français devrait avoir lieu dans le courant de l'année, la date sera prévue en fonction des orientations générales prises par l'EAAE. Le travail devrait se poursuivre dans plusieurs directions : entre autres, la poursuite d'AOL, une Université d'Été Européenne pour "débutants" en Catalogne Sud organisée par R. M. Ros (s'il y a assez de candidats, ce qui ne semble pas être le cas à l'heure actuelle car les délais d'organisation ont été très courts), peut-être déjà la préparation de l'éclipse totale d'Août 1999, et bien sûr, toutes propositions de votre part seront les bienvenues !

Josée Sert

Représentante Nationale
Française auprès de EAAE

Enseigner les sciences pour rendre libre

Note de la rédaction : ce texte reprend l'intervention de notre Présidente au cours d'une table ronde portant sur le thème "Science et éthique" lors d'un colloque de l'UNAPEC, organisé par Christian Larcher.

Mon intervention porte sur ce qui me paraît être le devoir du chercheur : faire partager la part de sens qu'il découvre au monde et la manière dont il l'appréhende. La démarche scientifique est un de nos modes de connaissances, **qui contribue à rendre libre** : nous devons le rendre accessible au plus grand nombre.

La façon trop simplifiée dont les résultats de la recherche sont généralement présentés dans les media me semble à peu près totalement dépourvue de signification, parce qu'elle expose un résultat isolé, considéré comme spectaculaire, sans faire percevoir la complexité du problème qui dépend d'un grand nombre de paramètres, ni comment, pas à pas, on peut la vaincre.

Il revient à l'enseignement scientifique de montrer que, si l'on ne peut éviter la complexité, il est possible de la surmonter. La méthode scientifique repose sur l'utilisation de modèles qui s'affinent ; le scientifique marque les limites de sa connaissance et la diversité de ses degrés de certitude. Il sait aussi que les mots qu'il utilise pour formuler son savoir sont imparfaits et insuffisants.

Et c'est l'objectif essentiel que nous poursuivons au sein du CLEA, depuis 20 ans : contribuer à la formation de l'esprit scientifique, à travers une discipline particulière, l'astronomie, qui autant par son objet que ses méthodes propres, ou encore l'intérêt qu'elle suscite nous semble particulièrement bien adaptée.

La tâche me semble particulièrement essentielle dans un monde où 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.

Je vais illustrer mon propos par 2 exemples, tirés de ma pratique de chercheuse et d'enseignante dans le domaine de l'astronomie-astrophysique.

1- Le Calendrier :

Mon premier exemple concerne l'enseignement scientifique en filière non scientifique : les thèmes choisis ne doivent pas faire appel à un trop grand nombre de connaissances "empilées", de telle sorte que l'accent puisse être mis sur la démarche que l'on veut illustrer. J'ai choisi celui du Calendrier (pour plus de détails, on se reportera au hors-série n°3 des CC : "Le temps et les constellations").

Le Calendrier que nous utilisons, le grégorien, est un calendrier solaire : il a pour objectif de définir une année qui reproduise le rythme des saisons et un jour qui reproduise le rythme diurne du Soleil. Accessoirement, il comporte aussi des mois qui reproduisent la période des

phases de la Lune, ou lunaison.

En gros, la durée du jour correspond à la période du mouvement de rotation propre de la Terre, autour de son axe polaire, en à peu près 24 heures ; celle de l'année à une révolution de la Terre autour du Soleil, qui s'effectue en à peu près 365 jours. La durée du jour est celle qui sépare 2 passages consécutifs du Soleil au méridien, donc deux midis successifs ; la durée de l'année celle qui sépare 2 équinoxes de printemps successifs ; il peut y avoir des fluctuations du midi prédit autour du midi vrai, de l'équinoxe de printemps prédit autour de l'équinoxe de printemps vrai, mais pas de dérive, qui, accumulée, ferait glisser midi vers le milieu de la nuit ou le printemps en été, par exemple.

Pour éviter ces dérives, il nous faut connaître avec une grande précision la durée moyenne du jour solaire et la durée moyenne de l'année des saisons, ce qui implique que l'on identifie les phénomènes qui les provoquent. Ce sont :

- la rotation de la Terre sur elle-même, qui n'est pas totalement régulière, du fait de l'hétérogénéité de la distribution des masses en son intérieur, et qui se ralentit au cours des siècles, du fait de la perte d'énergie due aux marées ;

- la révolution de la Terre autour du Soleil qui s'effectue sur une orbite en première approximation circulaire et avec une vitesse uniforme ; en seconde approximation sur une orbite elliptique décrite selon la loi des aires ; en troisième approximation de constantes orbitales variables du fait de l'interaction de la Lune et des autres planètes. Ces approximations concernent des échelles de temps différentes.

En outre, le jour solaire dépend non seulement du mouvement de rotation propre de la Terre, mais aussi de son mouvement de révolution annuel, parce que, en une période de rotation, l'observateur terrestre a changé de point de vue, puisqu'il s'est déplacé par rapport au Soleil ; de même la période de retour de l'équinoxe de printemps (par exemple) ne dépend pas seulement du mouvement orbital, parce que la définition de l'équinoxe met en jeu l'axe de rotation de la Terre et son orientation par rapport au Soleil ; il y a équinoxe quand le grand cercle qui limite sur Terre l'ombre et la lumière passe par les pôles.

Il se produit une précession des équinoxes, c'est-à-dire qu'il y a un déplacement séculaire de l'étoile devant laquelle se projette le Soleil au moment de l'équinoxe de printemps ; elle est due au mouvement de toupie de la Terre dont l'axe de rotation ne reste pas fixe par rapport aux étoiles et enveloppe un cône de révolution en 26 000 ans ; du fait de ce mouvement, la durée moyenne de l'année des saisons est un peu plus courte que l'année sidérale (durée d'une révolution complète).

J'ai fait allusion à la nécessité de définir des valeurs moyennes : celle du jour est le jour solaire moyen de 24 heures - celle de l'année des saisons est l'année tropique qui vaut 365,2422 jours solaires moyens. Elles éliminent les dérives systématiques, au moins sur une très longue échelle de temps, mais pas les fluctuations aléatoires.

Lorsque Jules César a adopté le calendrier julien, sur la proposition de Sosigène, il a adopté pour l'année une durée évaluée à 365,25 j.s.m.. Cette année est trop longue de 0,078 jours. Le Pape Grégoire XIII a dû réformer le calendrier et introduire en 1584 celui qui porte son nom, à cause de la date de Pâques qui fait référence à l'équinoxe de printemps (premier dimanche qui suit la nouvelle Lune qui suit l'équinoxe). Le faible excès de l'année julienne, accumulé sur des siècles, explique pourquoi la révolution d'octobre (du calendrier Julien) a eu

lieu en novembre (du calendrier grégorien), ou pourquoi les orthodoxes ont fêté Noël le 7 janvier.

Cet exemple du calendrier me semble particulièrement parlant, parce qu'il est lié à la vie pratique et peut être facilement compris. Je n'ai pas épuisé le sujet, loin de là : on pourrait s'intéresser aux calendriers lunaires, ce qui nous permettrait de comprendre le glissement du mois de ramadan du calendrier musulman ou la complexité du calendrier israélite, qui est à la fois lunaire et solaire.

Ayant identifié les facteurs divers, et nombreux qui contribuent à fixer la durée de l'année, nos élèves n'accepteraient peut-être plus d'entendre (ou devenus adultes de tenir) les discours réducteurs que nous entendons ou lisons trop souvent à propos des causes des problèmes du temps ; par exemple les immigrés, "de plus en plus nombreux en France, identifiés aux travailleurs clandestins et considérés comme responsables du chômage". Ils n'accepteraient peut-être plus non plus que le "thème astral" soit un facteur de sélection utilisé par les cabinets d'embauche, ni de recourir à la voyance pour définir leur comportement dans leur vie (ce qui semble être le cas de nombre d'hommes politiques...).

2 - A propos des modèles et de l'insuffisance des mots : l'expansion de l'Univers

J'ai traité cet exemple en détails dans le numéro 76 des CC. Je me bornerai ici à discuter ce que l'on entend par "univers en expansion". Celui qui cherche à décrire le comportement des galaxies dans l'univers se réfère à un modèle très abstrait, issu de la relativité générale d'Einstein, que l'on tente d'exprimer avec des mots de la façon suivante : les galaxies sont fixes dans l'Univers, lui-même en expansion ; et on tente un modèle pour décrire ce comportement : les galaxies se comportent comme des boutons cousus sur une bande d'élastique (qui modélise un univers à une seule dimension) ; si quelqu'un tire sur l'élastique, les boutons, bien que fixes sur l'élastique-univers, s'éloignent les uns des autres. Cela nous permet d'illustrer le comportement des galaxies, mais pas vraiment de nous faire une image de ce qu'est un univers en expansion : à l'encontre de l'élastique, l'univers n'est plongé dans rien, et personne ne "tire dessus"...

Le modèle est imparfait : son objectif est **seulement** de faire comprendre que les galaxies (les boutons) peuvent avoir l'air d'être en mouvement (de s'éloigner les unes des autres) tout en étant fixes dans l'Univers (sur l'élastique), parce que ce sont les distances dans l'Univers qui augmentent au cours du temps.

De même, le vocabulaire est imparfait : dire que l'Univers est en expansion ne traduit que de façon imparfaite cette propriété.

Lucienne Gouguenheim

CHRONIQUE DU CLEA - Parmi nos lettres

RENOUVELLEMENTS 1997 - Comme chaque année, le secrétariat félicite les Collègues qui pensent au renouvellement de leurs abonnements et cotisations. C'est l'occasion pour beaucoup d'échanges de voeux sympathiques ou de commandes des nouveautés de notre matériel. Un petit regret pour quelques Collègues qui prennent la précaution de nous prévenir "*Je ne désire plus cotiser et m'abonner au CLEA*" mais qui ne donnent pas d'explication. Le CLEA et les CAHIERS CLAIRAUT ne sont pas à l'abri des critiques. N'hésitez jamais, chers Collègues, à nous faire part de vos critiques, nous en profiterons.

UNIVERSITE D'ETE 1997 - Marie-France DUVAL (Observatoire de Marseille) nous informe que sa proposition d'université d'été a été acceptée par le MEN. Elle aura donc lieu au collège de Sault (Vaucluse) du 23 au 31 août pour les 40 places demandées.

STAGES MAPPEN - Eric Varanne nous informe d'un stage "Astronomie, sciences de la Terre et de l'Univers" qui aura lieu du 11 au 14 mars pour l'académie d'Orléans-Tours pour 25 personnes.

L'ESPACE A L'HEURE EUROPEENNE - Dans le cadre d'un projet Comenius, notre Collègue Christian Mossler, professeur au lycée Arthur Rimbaud de Sin Le Noble (Nord) prend des contacts avec les lycées de Bergame (Italie), du pays basque espagnol et de Torun (Pologne) pour un travail pluridisciplinaire sur la révolution copernicienne.

SPACE NEWS INNET est un périodique d'informations et d'actualités internationales sur l'astronomie, l'espace et les sciences connexes. On peut s'y abonner gratuitement via un mail sur [http://www.sat-net.com/space news](http://www.sat-net.com/space%20news)
(information communiquée par notre Collègue Roland Pons)

LA POLLUTION LUMINEUSE - Un comité national pour la protection du ciel nocturne a été fondé par la Société Astronomique de France (3 rue Beethoven, 74016 PARIS).

Le logiciel CLEASTRO est toujours disponible.

Pour se le procurer, écrire à Jean-Paul ROSENSTIEHL, 73 bd Mutuel, 72000 LE MANS en joignant à la commande la somme de 20 F.

Ce logiciel, rappelons-le, contient des applications concernant le géocentrisme et l'héliocentrisme. Il offre la possibilité de calculer les longitudes héliocentriques des planètes avec animations graphiques, tracé de planétaires, positions des planètes, etc

L'auteur serait particulièrement heureux de connaître les réactions des utilisateurs.

REABONNEMENTS - Les collègues dont l'abonnement était à échéance avec le numéro 76 Hiver et qui n'ont pas encore renouvelé leur abonnement, recevront encore ce n°77 Printemps. Mais s'ils ne se pressent pas de renouveler leur abonnement, ils risquent de ne plus recevoir des nouvelles du CLEA. N'est-ce pas qu'il faut éviter cela ?

Les publications du C.L.E.A.

Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

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

- HS1. L'astronomie à l'école élémentaire (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS2. La Lune niveau collège 1 (60F- 68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS3. Le temps, les constellations, niveau lycée (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS4. Astronomie en Quatrième (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS5. Gravitation et lumière, niveau Terminale (75F-83F) (65F-73F pour les abonnés)
- HS6. L'âge de la Nébuleuse du Crabe (avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies ;
niveau lycée) (100F-110F) (90F-100F pour les abonnés)
- HS7. Etude du spectre du Soleil (50F-58F) (42F-50F pour les abonnés)

Documents pour les fiches CLEA-BELIN

- DCB. 10 exemplaires 40F (35F pour les abonnés)
- 20 exemplaires 65 F (60 F pour les abonnés)

Transparents animés pour rétroprojecteur

- T1. Le TranSoLuTe (phases de la Lune et éclipses) (50F-55F)
- T2. Les fuseaux horaires (50F-55F)

Diapositives (Séries de 20 vues+livret de commentaires)(60F-65F)(50F-55F pour abonnés)

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

Filtres colorés et réseaux

FCR. Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux (70F-75F) (65F pour les abonnés)

Cours photocopiés d'Astrophysique (M3.C4 de l'Université Paris XI-Orsay)

chaque fascicule : 30 F, 35 F

- CI. Astrophysique générale
- CII. Mécanismes de rayonnement en astrophysique
- CIII. Etats dilués de la matière : le milieu interstellaire
- CIV. La structure interne des étoiles
- CV. Relativité et cosmologie
- CS. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil

Pour chaque publication, le deuxième prix est celui qui comprend les frais d'expédition et concerne donc les commandes par la poste.

Chèques à l'ordre du CLEA envoyés au secrétaire

Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD

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

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 1997 :

Cotisation simple au CLEA pour 1997	30 F
Abonnement simple aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n° 77 à 80	120 F
Abonnement aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n°77 à 80 ET cotisation au CLEA pour 1997	150 F
Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
Le numéro des <i>Cahiers Clairaut</i> (port compris)	40 F

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

COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

C1 . Collection complète du n° 1 au N°76 (1200 F- 1300 F)

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

C90. à C96. (chaque 90 F- 100 F)

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

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

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

Autres publications diffusées par le CLEA

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

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

PUBLICATION DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

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

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim

Dépot légal 1er trimestre 1979

Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

Numéro d'inscripton CPPAP 61660