

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

Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER

Evry SCHATZMAN

Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents

Agnès ACKER

Marie-France DUVAL

Hubert GIE

Jean RIPERT

Josée SERT

Secrétaires-trésoriers

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.

LES CAHIERS CLAIRAUT

Eté 1997

	page
Un nouvel élan pour le CLEA	2
Organisation des Cahiers	3
Le vide est-il vraiment vide ? (suite et fin)	4
Faut-il enseigner l'histoire des Sciences ?.....	11
Diapositives D8 : Comètes.....	16
Les comètes en 1997.....	19
Hale-Bopp avec ... de la colle et des ciseaux.....	21
Aventure en ligne	23
Un parcours diversifié en classe de 5ème	27
Le cadran solaire de Freeman (suite).....	31
Le courrier du CLEA.....	35
Lectures pour la Marquise	36
Les potins de la Voie lactée	40

EDITORIAL

L'observation de la comète Hale-Bopp - même simplement à l'oeil nu ou dans une paire de jumelles - a été un vrai régal pour nous tous. Ce numéro des Cahiers s'enrichit de plusieurs contributions sur le thème des comètes. Merci à leurs auteurs : Christian Mossler, qui nous montre les belles photos qu'un astronome passionné peut faire dans le ciel de Douai, Jean-Paul Rosenstiehl, le co-auteur avec Daniel Toussaint de la série de diapositives D8 et Francis Berthomieu qui, grâce à Internet, a fait manipuler colle et ciseaux à Jacky Dupré !

Nous sommes aussi particulièrement reconnaissants à Roland Szostak pour ce second épisode de son histoire du vide : une splendide réflexion sur les conséquences étranges des effets quantiques.

K. Mizar est allé rechercher dans le passé de quoi alimenter notre réflexion sur l'enseignement de l'histoire des sciences. Daniel Toussaint nous relate son expérience de parcours diversifié en classe de 5ème : richesse du calendrier, qui nous offre de multiples possibilités justement de recours à la démarche historique.

Nous préparons le numéro du vingtième anniversaire des Cahiers : l'occasion de renouveler notre appel de contributions aux "anciens". Nous voudrions qu'ils nous disent ce qu'ils attendaient du CLEA et des CC, comment ils les jugent aujourd'hui, ce qu'ils en attendent demain ...

La rédaction, de son côté, a commencé à réfléchir à sa réorganisation qu'elle vous présente ici. Il est en particulier fait appel à vous lecteurs-auteurs : la nouvelle équipe attend avec impatience que vous lui adressiez vos contributions, avec un peu d'avance, de telle sorte que nos numéros soient mieux équilibrés. Nous recherchons en particulier des articles liés à l'école élémentaire et des relations d'expériences pédagogiques simples. Merci à l'avance !

Bonnes vacances à tous.

La Rédaction



Un nouvel élan pour le CLEA ?

Au-delà du clin d'oeil en direction d'une formule à la mode, c'est d'une étape importante dans la vie de notre association et celle des Cahiers Clairaut qu'il s'agit.

Vous le savez, nous allons bientôt, avec le numéro 80, fêter le vingtième anniversaire des Cahiers. Ce sera pour nous l'occasion de faire un peu le point, de jeter un coup d'oeil en arrière pour mieux nous tourner vers l'avenir. Gilbert Walusinski nous a annoncé, lors de l'Assemblée Générale d'Orsay, en Novembre dernier, que ce sera aussi pour lui l'occasion de prendre sa troisième retraite : celle du CLEA, après celle de l'APMEP et celle de l'Education Nationale. Même s'il nous promet de continuer à s'intéresser aux lectures de "la Marquise", il est clair que Gilbert va laisser une succession difficile, tant son activité est éminente (secrétaire, trésorier, rédaction des Cahiers Clairaut ...). Mais il a déjà commencé à faire équipe avec Catherine Vignon pour ce qui concerne la trésorerie et la gestion des commandes : le passage du témoin est en bonne voie ...

Malgré un nombre d'adhérents qui ne croît pas comme le secrétaire le souhaiterait (son objectif de "deux mille adhérents en l'an deux mille" semble bien difficile à atteindre), la trésorerie du CLEA est saine (félicitons le trésorier !). Les membres du bureau ont donc tenu à la présidente le raisonnement suivant : "est-il acceptable que toute l'activité du CLEA repose sur le travail bénévole, alors qu'il y a tant de chômage ?" Poser la question, c'était déjà y répondre ... Avec pas mal d'insomnies, beaucoup de recherches dans les méandres administratifs, "l'équipe d'Orsay" s'y est employée.

Nous avons donc le plaisir d'annoncer la venue parmi nous de Sophie Durand, qui travaille à mi-temps au siège du CLEA, à Orsay, depuis le 1er Mai. Elle possède une double formation de graphiste et de gestionnaire d'associations, beaucoup d'enthousiasme, et commence à réfléchir à une nouvelle maquette de la revue. L'équipe de rédaction est en train de se structurer autour de Martine Bobin qui l'animera.

C'est donc le moment de faire appel aux lecteurs, en leur demandant critiques et suggestions, et surtout, et plus que jamais, leur concours.

Martine et Michel Bobin ont examiné avec soin les 77 numéros parus des Cahiers ; ils ont relevé tous les articles, qu'ils ont classés par rubrique, et répertorié leurs auteurs. Ils vous présentent ci-dessous leur analyse et vous demandent votre collaboration. Ce serait particulièrement réconfortant pour la nouvelle équipe de pouvoir démarrer cette seconde vie des Cahiers, à partir du numéro 81, en disposant à l'avance d'un fond suffisant d'articles. J'allais écrire : "à vos plumes !", mais je me reprends bien vite, sachant que Sophie attend surtout vos disquettes (avec un exemplaire papier de l'article et le nom du fichier inscrit sur ce dernier et de préférence formaté en Word 5.1 version MAC. Merci d'avance) ...

Au 1er janvier 1998, le secrétariat du CLEA changera aussi de domiciliation : il passera du célèbre "26, Bérengère" au siège d'Orsay et des mains de Gilbert à celles de Sophie ; nous en parlerons ...

Lucienne Couguenheim

Organisation des Cahiers

Le classement par rubriques des articles des anciens numéros des CC a mis en évidence la richesse et la diversité de notre revue. Par ailleurs, si nous retrouvons régulièrement certaines signatures, le nombre total d'auteurs est important. Afin de permettre que d'autres lecteurs osent se lancer dans la rédaction d'articles, nous avons décidé d'explicitier les rubriques. En outre, les CC y gagneront en clarté.

Voilà nos propositions après consultation du comité de rédaction.

Liste des rubriques devant figurer si possible dans chaque numéro

• **Article de fond** : Exposé sur un sujet d'astrophysique ou de philosophie.

• **Histoire ...** de l'astronomie, des sciences.

Exposé ou analyse approfondie de textes historiques fondamentaux.

• **Travaux pratiques ou exercices** :

Cette rubrique décrit une activité ou une expérience sur un thème précis.

• **Avec nos élèves** :

Compte rendu d'une expérience pédagogique : (une à deux par numéro)

- à l'école primaire ou maternelle - au collège - au lycée - en club scolaire

Ce travail utile à tous peut être alimenté par chacun d'entre nous. Il s'agit de présenter des choses simples, d'expliquer les succès et les difficultés rencontrées.

• **Les potins de la Voie lactée**

• **Lectures pour la Marquise**

Tout le monde connaît le contenu de ces deux rubriques, incontournables.

• **Vie associative** :

- chronique du CLEA - chronique de l'EAAE

- informations diverses (stages ; écoles d'été ...) - tribune des lecteurs

Rubriques occasionnelles

• **Réalisation d'objets** :

Cette rubrique donne les indications pour la réalisation de maquettes ou d'instruments qui peuvent servir soit à mieux comprendre soit à faire mieux comprendre. Certains de ces objets sont réalisables en classe.

• **Observations** :

Il s'agit de signaler et de décrire les conditions d'observation de phénomènes d'actualité intéressants (éclipses, comètes..).

• **Curiosités** : Articles courts comportant des sujets amusants ou insolites.

• **Reportages** : Cette rubrique relate des manifestations ou des voyages à thème astronomique en France ou à l'étranger.

• **Textes** : Présentation d'un texte littéraire ou philosophique concernant l'astronomie avec si possible un commentaire précisant son intérêt. Appel aux littéraires !

• **Pédagogie et enseignement scientifique** :

Il peut s'agir aussi bien d'une information sur les programmes scientifiques que d'une réflexion sur l'enseignement de l'astronomie.

• **Réflexions et débats** :

En plus du "courrier" qui permet un échange assez rapide entre les lecteurs, cette rubrique propose un article approfondi sur un sujet (autre que pédagogique) prêtant à discussion (philosophie, expérimentation en astrophysique, astrophysique et autres sciences ; réflexion à partir de la lecture d'un livre..). Les lecteurs peuvent réagir à un tel article.

Martine et Michel Bobin

Le vide est-il vraiment vide ?

(suite et fin)

La physique classique ne pouvant pas expliquer complètement l'équilibre thermique du rayonnement du corps noir, "radiateur intégral", qui produit en son enceinte les radiations dans toutes les fréquences, Max Planck a introduit la notion d'échange par "grains", qu'il a dénommés *quanta*, de l'énergie entre le rayonnement et la matière.

La radiation de fréquence ν ne peut céder à la matière, ou recevoir d'elle, que des quanta d'énergie $E_\nu = h\nu$. Chaque quantum d'énergie forme un tout insécable pour les échanges. Sa valeur en énergie dépend de la valeur de la fréquence de la radiation, et elle est déterminée par la constante universelle h , la *constante de Planck*, dénommée aussi *quantum d'action*.

Niels Bohr a créé la première théorie quantique, en imaginant la façon de lier la radiation quantifiée à la structure des atomes :

Il postule que les électrons constitutifs décrivent autour du noyau des orbites quantifiées en énergie. Dans la conception classique, un électron décrivant une telle orbite devrait rayonner, et ainsi perdre, de l'énergie. Mais Bohr postule que les orbites sont stables : l'électron demeure sur son orbite tant qu'une action externe n'intervient pour l'en déloger.

Deuxièmement il postule que l'électron peut passer d'une orbite d'énergie $E_1 = h\nu_1$ à l'orbite d'énergie $E_2 = h\nu_2$, l'atome émettant un photon d'énergie $E_1 - E_2$ si $E_1 > E_2$, et l'atome absorbant un photon d'énergie $E_2 - E_1$ si $E_1 < E_2$.

Cette première théorie de Bohr heurtait la physique classique, mais elle a permis de donner une explication détaillée du tableau des éléments chimiques, de Mendéléev.

On a commencé à mieux comprendre après que Louis de Broglie eut eu l'idée d'associer une onde à l'électron, et que Davisson et Germer eussent mis en évidence, à la suite d'un accident de laboratoire, l'existence d'interférences produites par ces ondes.

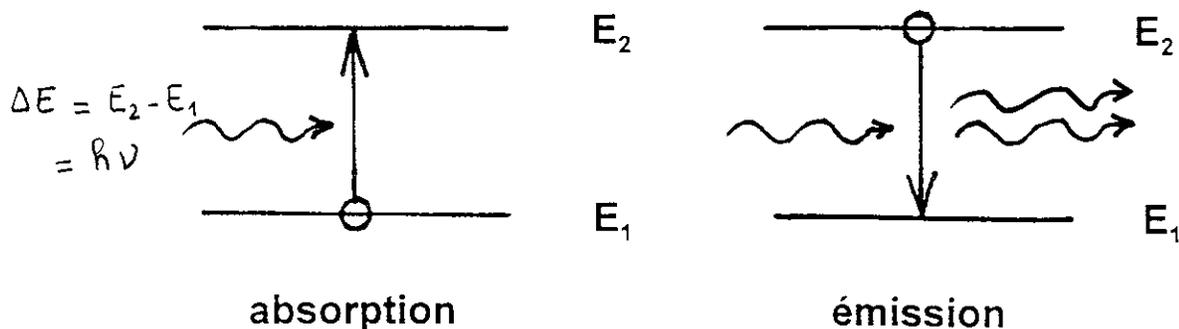
Appliquant cette nouvelle notion à la structure atomique, Erwin Schrödinger a pu calculer les niveaux d'énergie quantifiés occupés par les électrons. Ceux-ci dans l'atome ne se comportent plus alors seulement comme des particules, mais aussi comme des ondes stationnaires liées à l'atome, et demeurent caractérisés dans leurs niveaux énergétiques par la fréquence ν du niveau occupé. Ils n'ont plus de trajectoires, et donc ne sont plus astreints, par les règles classiques, à rayonner de l'énergie.

On explique alors le phénomène d'émission, ou d'absorption d'un photon par un atome : la superposition de deux états oscillants, de fréquences $\nu_1 > \nu_2$, produit une oscillation (battement) de fréquence $\nu_1 - \nu_2$. L'électron change alors de niveau avec émission ou absorp-

tion par l'atome d'un photon ayant la fréquence du battement.

Mais la superposition de deux états ne se produit pas sans intervention. Elle est produite dans l'irradiation créée par des photons d'énergie $h(\nu_1 - \nu_2) = h\nu$ (positive) venant réagir avec les nuages électroniques des atomes. On obtient ainsi *l'émission et l'absorption stimulées*. Les deux possibilités de l'émission ou de l'absorption du photon ont la même probabilité. Si l'on expose une multitude d'atomes à l'incidence de ces photons, on trouvera que les électrons sont distribués également dans les deux états.

Transitions stimulées:



Il y a aussi le phénomène de *l'émission spontanée*. En ce cas les électrons tombent sur les états d'énergies les plus basses. Cela se passe même sans aucune irradiation externe. Ce phénomène ne pouvait pas être expliqué, mais il existe. On pouvait imaginer que les électrons sont attirés vers les états d'énergie inférieure par l'interaction électromagnétique avec le noyau. Mais cela n'est pas le cas, puisqu'ils se trouvent dans des états stables. Ils "sont à l'aise dans cet état confortable, et n'ont aucun désir d'en sortir, à moins d'y être contraints !" Nous allons voir que c'est le vide *quantique* qui contraint l'atome à cette émission spontanée.

Suivez-moi dans cette étonnante histoire : Erwin Schrödinger, s'intéressant lui aussi au corps noir, mais en appliquant à sa recherche l'équation qu'il a établie pour calculer la fonction d'onde ¹, a pu préciser que les états énergétiques des photons dans l'enceinte du corps noir ont les énergies $E_n = (n+1/2) h\nu$. Ce résultat est en accord avec le postulat de Planck : les énergies sélectionnées pour l'oscillateur représentant le corps noir sont séparées par $E = h\nu$. Mais ce qui est nouveau, c'est que *le vide le plus poussé devient un corps noir contenant, dans toutes ses parties, des photons résiduels de toutes les fréquences, car $(1/2) h\nu = h(\nu/2) = h\nu'$.*

Ce résultat remarquable est une nécessité théorique, au même titre que celle des *inégalités de Heisenberg* : ce sont des *conséquences inéluctables des postulats fondamentaux de la physique quantique*.

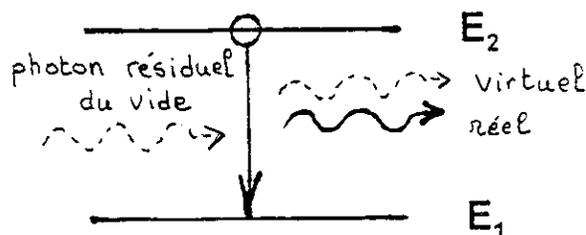
¹ [N.D.L.R.] La fonction d'onde $\Psi(M)$ d'un objet quantique définit, en chaque point M de l'espace, l'amplitude de la probabilité de localisation de cet objet (supposé ponctuel).

Il faut ainsi renouveler la notion du vide : *le vide quantique est le corps noir à la température du zéro absolu, où son énergie est la plus basse possible, sans être nulle.* Le vide quantique est encore ainsi un état limite du corps noir, sous-jacent à tous les états de vide accessibles à l'observateur : le plus poussé étant le vide intergalactique, précédé en moins poussé par le vide interstellaire, que le laboratoire ne permet pas d'atteindre expérimentalement.

Comment prouver expérimentalement l'existence de ce vide quantique ? Une expérience a été proposée par Casimir : Dans une enceinte où l'on produit le vide expérimental le plus poussé qui soit réalisable, on aura disposé, face à face, deux miroirs parallèles. Le vide quantique sous-jacent au vide effectivement réalisé fournit toutes les fréquences photoniques, et il s'établit les ondes stationnaires définies par leur intensité nulle aux noeuds, sur les miroirs, pour toutes les fréquences ν telles que la longueur d'onde soit $\lambda_n = c/\nu_n = 2d/n$, où d est la distance entre les deux miroirs, n prenant toutes les valeurs entières, soit $\nu_n = nc/2d$. Les photons libres, qui ont abandonné cette liberté pour former les ondes stationnaires, ne peuvent plus compenser la pression de radiation exercée par les photons libres, de même fréquence, sur les plans opposés aux faces des miroirs. D'autre part les ondes stationnaires n'exercent pas d'action sur les miroirs puisque, l'intensité de l'onde y étant nulle, les photons ne réagissent pas avec eux. Il en résulte une force d'attraction entre les deux miroirs. Si l'on refait l'expérience avec une distance $d' < d$, les ondes stationnaires produites ont les fréquences $\nu'_n = nc/2d'$, et comme $d' < d$, ν'_n est supérieure à ν_n , et par conséquent la force d'attraction augmente quand la distance d diminue. L'expérience vérifie effectivement ce phénomène, *ce qui prouve l'existence du vide quantique.*

Nous pouvons maintenant revenir au phénomène de l'émission spontanée des atomes . C'est l'existence du vide quantique qui permet de l'expliquer : les photons résiduels de ce vide quantique, par interaction avec les photons de l'atome, leur fournissent l'impulsion nécessaire pour qu'ils quittent leur niveau d'équilibre, et alors ils descendent jusqu'au niveau d'énergie minimale, quand celui-ci n'est pas déjà occupé, car les électrons sont des *fermions*, assujettis au *Principe de Pauli*, d'après lequel tout état quantique d'énergie ne peut être occupé que par un seul fermion.

Transition spontanée:



$$\Delta E = h\nu$$

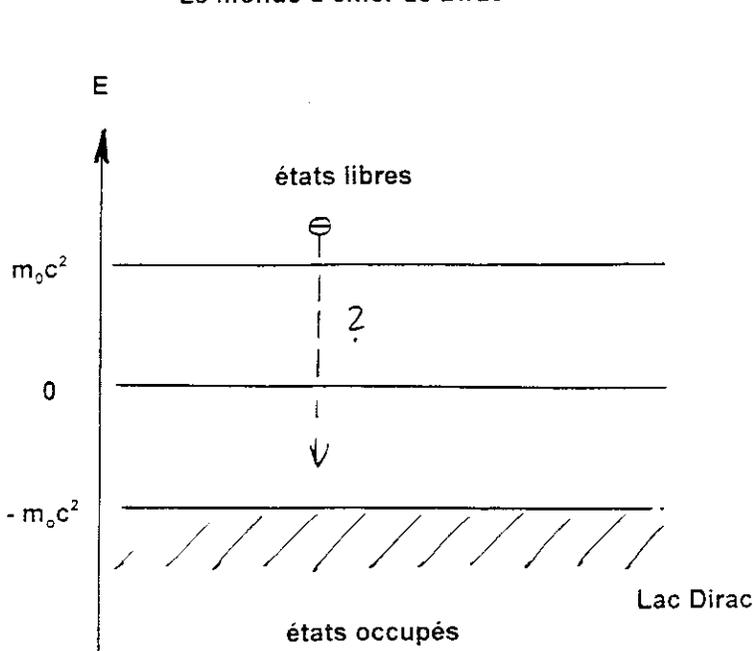
Toutefois les énergies de ces photons résiduels du vide quantique ne sont pas suffisantes pour permettre à un électron atomique de quitter son niveau stable pour monter à un niveau d'énergie supérieure. L'expérience permet aussi de vérifier que l'émission spontanée diminue quand on réduit la distance entre les miroirs, comme le prévoit la théorie, puisqu'alors une quantité d'énergie plus importante du rayonnement libre ($\nu'_n > \nu_n$) entre les miroirs a disparu.

Il faut remarquer que l'existence du vide quantique est essentielle pour la stabilité de l'Univers. Nous n'existerions pas matériellement sans le vide quantique, car alors il n'y aurait pas d'émission spontanée dans les atomes, qui se trouveraient toujours dans tous les états d'excitation possibles. L'équilibre thermodynamique de l'Univers serait impossible.

Il y a une autre propriété, encore plus étonnante, que la physique quantique impose absolument : Erwin Schrödinger avait cherché, pour la fonction d'onde, une équation prenant en compte la relativité einsteinienne. Cette équation ne permettait pas de trouver une solution pour la fonction d'onde dans l'espace-temps. Cela provenait de la non-linéarité de l'équation. C'est Paul Maurice Dirac qui a réussi, par un procédé astucieux, à linéariser l'équation relativiste de Schrödinger, qui devient ainsi l'équation de Dirac. En résolvant son équation, Dirac a découvert que l'électron doit avoir un spin, et que l'atome doit posséder des états d'énergie négative!

Il faut alors expliquer pourquoi les électrons ne descendent pas dans ces niveaux d'énergie négative, puisque l'énergie minimale est rejetée à une valeur négative illimitée. C'est encore le Principe de Pauli qui sauve la situation : il suffit de supposer que *les niveaux d'énergie négative sont déjà occupés par des électrons*.

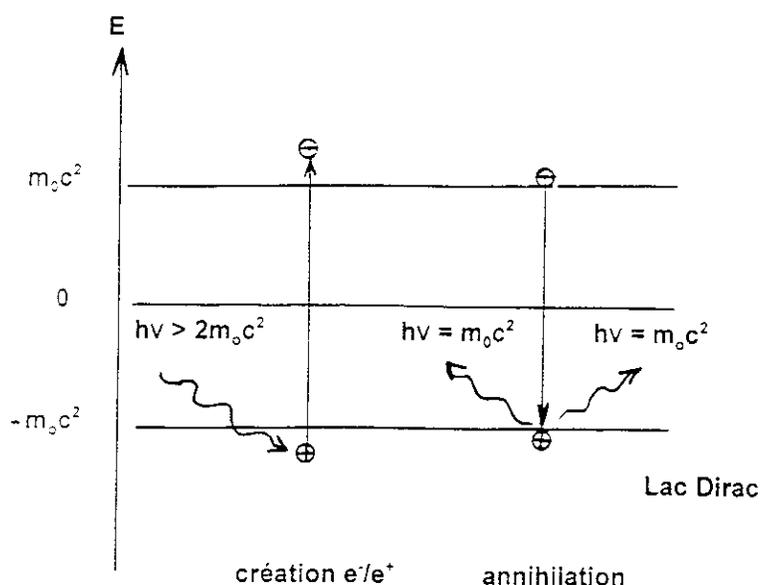
Le monde d'enfer de Dirac



Pourquoi il n'y a pas les transitions spontanées ?

Pauli: Tous les états $E < -m_0c^2$ sont occupés.

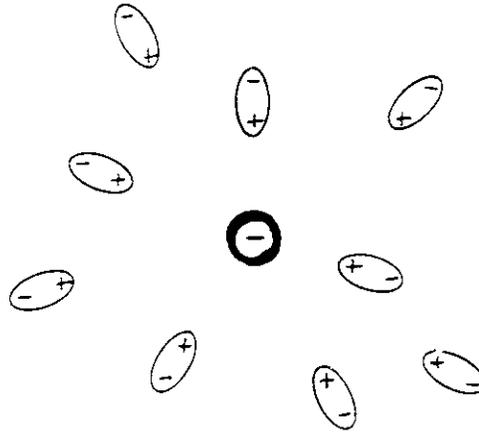
C'est le "lac d'enfer", le *lac de Dirac* ! Sa profondeur énergétique est illimitée, et il est complètement rempli d'électrons ! Mais on ne peut pas les percevoir : ce lac, pour nous, se confond avec le vide. C'est seulement quand un électron s'en échappe que nous percevons un "trou" dans le vide quantique. Ce trou est pour nous un *positron* ou électron négatif, de même énergie de masse que l'électron, mais de charge opposée. On crée un tel "trou" en irradiant le vide par un photon d'énergie $2mc^2$, pour "sortir" l'électron du vide, et fournir l'énergie du positron, la même que celle, mc^2 , de l'électron. Ces positrons se sont effectivement manifestés dans des expériences, qui ont ainsi confirmé la théorie de Dirac. Chaque fois qu'un nouvel objet quantique (- de charge définie et non nulle) a été découvert, au cours des expériences dans le domaine des "particules élémentaires", on a eu affaire par la suite à l'objet quantique de même masse et de charge opposée (son "anti-particule). La théorie de Dirac a ainsi prédit l'existence de *l'antimatière*. Elle a triomphé parce qu'elle a permis d'expliquer tous les nouveaux phénomènes que l'expérience amène à découvrir.



Le lac de Dirac a des conséquences surprenantes. L'inégalité de Heisenberg, $\Delta E \Delta T \approx h$, permet à l'énergie de prendre une valeur $2mc^2$, sans intervention externe, pendant une durée très courte, et il se forme ainsi constamment, dans le vide quantique, des couples virtuels électron-positron qui s'annihilent très vite. Quand un électron transite, il provoque la polarisation de ces couples virtuels, et le vide est ainsi polarisé autour de l'électron. Les électrons décrivent ainsi des traces tremblotantes, "comme si le vide était un champ de blé, les électrons volant au-dessus, frisant les épis"!

Cette polarisation du vide a pu être prouvée expérimentalement par Lamb : dans l'atome d'hydrogène, elle réagit sur les électrons, et entraîne une légère modification dans la configuration électronique. Ainsi, dans les états $2S_{1/2}$ et $2P_{1/2}$ qui ont le même niveau d'énergie, la polarisation diffère au voisinage des charges, de sorte que les "blindages" qu'elle produit sont un peu différents. Les mesures expérimentales confirment ces différences avec une précision excellente.

La polarisation du vide



L'électron est entouré de couples e^+e^- virtuels

Il y a aussi le spin de l'électron, qui fait qu'il se comporte en dipole magnétique, de sorte que l'interaction magnétique avec les couples virtuels du vide produit un décalage du dipole, dont la valeur prévue par la théorie est encore très bien confirmée par les mesures. Cela encore vient confirmer l'existence du vide quantique.

Il y a un effet encore plus curieux du "blindage" de l'électron dans le vide quantique : il masque partiellement, pour un observateur externe, la véritable charge de l'électron. Plus on s'approcherait de l'électron, plus l'effet du blindage dû à la polarisation du vide diminuerait et plus la charge augmenterait pour l'observateur. Et puisque le rayon de l'électron est quasi-nul, sa charge apparaîtrait comme infiniment grande ! Il faut ainsi que la contribution du blindage dû à la polarisation du vide, soit, elle aussi, infiniment grande. La charge de l'électron que nous percevons est ainsi la différence entre deux quantités infiniment grandes. Le vide quantique nous protège donc contre les périls des charges infinies ! La polarisation du vide protège notre existence!

Pour les mathématiciens, la différence entre deux quantités infinies n'est pas calculable, elle est indéterminée. Les physiciens, néanmoins, trouvent le moyen de calculer ici cette différence, par un procédé astucieux, la *renormalisation*². Ils ont obtenu ainsi pour valeur de la charge de l'électron, e , telle que $e^2/hc = 1/137$. C'est-à-dire que $e^2 = 1/137$ en unités h et c .

² [N.D.L.R.] La fonction d'onde doit être *normalisée* (opération parfaitement correcte du point de vue mathématique) pour que la somme, qu'elle permet de calculer, des probabilités de localisation de l'électron dans tout l'espace soit égale à 1, puisqu'il faut bien que l'électron soit quelque part dans cet espace!

La *re*-normalisation (elle, sujette à caution au regard du mathématicien!) est un recours indispensable, pour le physicien, quand la théorie impose des valeurs infiniment grandes à des grandeurs physiques pour lesquelles l'expérience assure des valeurs mesurables.

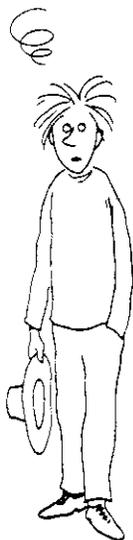
Maurice Dirac disait carrément que ce calcul n'est pas permis. Se référant à l'autorité de la Bible, il considérait que cette faute était la chute de la physique quantique, comme la pomme nous a chassés du Paradis !

Mais la physique ne sait pas comment empêcher cette chute. Il nous faut donc vivre avec cette chute de la physique comme avec la chute du paradis. La pomme de la chute nous a donné la capacité de raisonner. La chute de la physique quantique nous a donné la connaissance du fait que le néant est plus compliqué que ce que nous imaginions auparavant.

Le vide quantique est devenu, entre-temps, plus compliqué encore. Ici nous n'avons eu à envisager que les forces du champ électromagnétique, qui sont produites par l'interaction de l'électron et du photon. Il faut aussi un vide pour les forces nucléaires, qui sont produites par l'interaction des quarks et des gluons. La nature de ce vide *chromodynamique* est encore plus compliquée. Nous n'en discuterons pas ici.

Enfin, quand nous regardons les étoiles du ciel, nous assistons aux grands miracles de l'Univers. Mais il est un autre miracle : comment la lumière qui parvient jusqu'à nos yeux, a-t-elle pu franchir les grandes distance dans l'espace ainsi plein de vide ? L'astronomie est une grande aventure, les yeux dans les yeux.

Roland Szostak



ENDE

Note de la Rédaction : Nous rappelons que ce cet article, dont la première partie a été publiée dans le numéro précédent des Cahiers, est issu de la conférence donnée (en français) par notre ami Roland au cours de l'Université d'été 1976. C'est à la complicité entre Roland, Christian Larcher (pour le premier épisode) et Roger Gouguenheim pour celui-ci que nous devons la présentation finale. Merci à tous les trois.

Faut-il enseigner l'histoire des sciences ?

Avant de répondre à cette question, veuillez, cher Lecteur des CAHIERS CLAIRAUT, prendre le temps de la lecture d'un vieux texte et le temps sans doute plus long des réflexions que celle-ci aura certainement provoquées. La question mérite débat.

Le texte que je propose à votre attention s'intitule PROGRAMME proposé en février 1892 pour un Cours d'histoire des sciences dans la classe supérieure de l'enseignement moderne dans les lycées.

Son auteur est PAUL TANNERY (1843-1904). On ne parle plus guère aujourd'hui de ce grand historien des sciences à qui l'on doit des **Recherches sur l'astronomie ancienne** publiées en 1893 et qui a contribué à la publication des oeuvres complètes de Fermat (entre 1891 et 1896) et celles de Descartes en collaboration avec le philosophe Adam. Sans doute passionné par l'histoire des mathématiques au XVII^{ème} siècle, Paul Tannery s'intéressa aussi à tous les domaines scientifiques et à toutes les époques. Il fut en son temps un expert reconnu. C'est pourquoi les organisateurs du nouvel enseignement moderne (lequel consistait, en la circonstance, à instituer une "classe de mathématiques élémentaires" en parallèle à la traditionnelle "classe de philosophie") firent appel à la compétence de Tannery pour établir le programme d'un cours d'histoire des sciences.

Le texte de Paul Tannery n'a été publié qu'après sa mort, en 1907, dans la **Revue du mois** par Jules Tannery, son frère, qui était alors sous-directeur de l'Ecole Normale Supérieure. Comme on va le constater, le programme conçu par Tannery était extrêmement ambitieux ; il ne fut jamais officiellement adopté ni très probablement enseigné. Mais il me paraît bien représentatif des justes ambitions des fameux programmes scientifiques adoptés pour les lycées en 1902 et qui purent s'appuyer sur une collection de manuels célèbres, ceux du Cours Gaston Darboux (éd. Armand Colin) qui comportèrent, entre autres, les **Leçons d'arithmétique**, par Jules Tannery, les **Leçons d'algèbre élémentaire**, par Carlo Bourlet (qui se chargeait aussi d'un livre de trigonométrie), les **Leçons de cosmographie**, par Tisserand et Andoyer, et enfin et surtout les deux fameux volumes de **Leçons de géométrie élémentaire**, par Jacques Hadamard. Nos grands-pères et grands-mères qui eurent la chance d'aller au lycée (qui à l'époque était laïc mais pas gratuit) furent soumis à rude régime. C'est peut-être ce que pensait Jules Tannery quand il écrivait les quelques lignes que voici en introduction du texte de Paul :

"On peut regarder ce texte comme un table des matières, très abrégée, de ce Discours sur l'histoire générale des sciences que mon frère avait commencé d'écrire et qui, s'il avait vécu, serait publié depuis deux ans. On verra avec quelle élévation d'esprit Paul Tannery concevait l'enseignement de cette histoire. Un jour viendra peut-être où l'autre histoire, l'histoire des faits, ne sera plus

regardée que comme un cadre, d'ailleurs indispensable. Pour savoir comment l'esprit humain a évolué, il faut connaître le milieu où il a évolué : c'est cette évolution qui importe ; l'histoire des sciences n'en retrace qu'une partie, mais une partie essentielle.

Il faut bien avouer qu'aujourd'hui, comme il y a quinze ans, l'enseignement de cette histoire est impossible dans nos lycées, parce que le personnel n'est pas préparé. Il faut, tout d'abord, organiser la préparation. On a jugé avec raison que l'histoire de l'enseignement et des doctrines pédagogiques était indispensable à ceux qui veulent être professeurs ; elle est, aujourd'hui, admirablement exposée ; mais l'histoire de ce qu'ils auront à enseigner est-elle moins nécessaire aux futurs maîtres ? Peuvent-ils continuer d'en ignorer les grands traits ?

Il suffit, pour répondre, de lire les pages qui suivent." Jules Tannery

Le jugement de Jules Tannery sur la formation pédagogique des maîtres était-il trop optimiste ? Je n'ai pas le moyen d'en juger mais je ne suis pas étonné qu'en 1907 Jules Tannery ait pu déplorer le manque de formation des maîtres pour enseigner l'histoire des sciences. Je connais des astronomes et des enseignants qui, en 1976, ont pu énoncer les mêmes regrets concernant l'enseignement de l'astronomie. Mais revenons au texte de Paul Tannery : voici, tout au long, son début "Conseil et directions" ; je ne vous donnerai ensuite qu'un résumé du programme.

CONSEILS ET DIRECTIONS

Le but que le professeur devra chercher à atteindre est principalement de montrer l'enchaînement rationnel qui a lié l'évolution de chacune des sciences, soit avec celle des autres, soit avec celle de la civilisation en général.

Pour chacune des périodes indiquées dans le programme ci-après, il devra s'attacher à définir et à bien faire comprendre l'ordre d'idées, vrai ou erroné, qui dominait dans chaque science, ainsi que le caractère des transformations qu'a pu subir cet ordre d'idées au cours de la période. Il sera d'ailleurs inutile de s'astreindre rigoureusement à l'ordre chronologique ; il est préférable, au contraire, de s'en tenir pour chaque époque aux traits généraux, sauf à remonter aux germes antérieurs des grandes idées ou découvertes nouvelles, quand il s'agira d'en exposer l'histoire, et à indiquer en même temps les conséquences ultérieures de ces découvertes sur lesquelles on ne se proposera pas de revenir à propos d'une autre époque.

Tout en cherchant ainsi à développer le plus possible chez les élèves des idées générales, il conviendra, pour soutenir leur attention, d'illustrer l'enseignement par des détails circonstanciés donnés dans chaque leçon sur un sujet déterminé. Le programme indique un certain nombre de ces sujets mais il ne sera pas nécessaire de les développer tous également : le programme ne doit pas davantage être considéré comme limitatif ; le professeur devra choisir, d'après ses convenances personnelles, pour chaque leçon, la question qu'il se proposera de traiter en détail, sous la condition de la rattacher nettement à un ordre d'idées générales exposé dans la même leçon.

Toute question de détails ainsi choisie devra être traitée aussi complètement que possible : on aura soin d'ailleurs, soit en l'exposant, soit en développant des thèmes plus généraux, d'éviter toute nomenclature vide, aussi bien que les indications historiques trop sommaires qui, sous une apparence de précision, ne laissent souvent que des notions fausses dans l'esprit des élèves.

Au lieu d'un sujet relatif à l'histoire d'une question déterminée (comme par exemple l'origine des chiffres modernes ou celle de la machine à vapeur), le professeur pourra choisir la vie d'un savant illustre. Dans ce cas, tout en retraçant les détails intéressants de sa biographie, il devra s'attacher à indiquer ses ouvrages les plus importants et à en donner une analyse suffisante pour provoquer alors chez les élèves le désir d'arriver à les connaître plus complètement.

Enfin il ne devra pas perdre de vue, en thèse générale, que l'étude historique des sciences ne doit pas seulement s'attacher à retracer les progrès de l'esprit humain dans la connaissance de la vérité ; qu'elle a aussi à en rappeler les erreurs, et que c'est précisément la saine appréciation de ces erreurs qui seule peut bien faire comprendre l'importance véritable des sciences ; sans négliger l'intérêt qu'offrent les applications pratiques, il ne perdra pas une occasion de faire ressortir la nécessité de la science qui seule peut conduire à des conceptions justes, soit de l'univers, soit de la société humaine.

LE PROGRAMME

Alors que "Conseil et directions" occupent deux pages, le programme détaillé en occupe six dont je ne donnerai ici qu'un bref résumé. Il est divisé en trois trimestres.

Le premier traite de la science antique. "Des connaissances pratiques qui ont servi de fondement aux théories des sciences pures". Pythagore et son école, Thalès, Hippocrate, Aristote ; des contradictions opposées dans l'antiquité aux dogmes d'Aristote : la doctrine atomique. La période alexandrine Euclide, Archimède, Hipparque ; la période gréco-romaine jusqu'à Constantin

Deuxième trimestre, réveil du temps de Charlemagne, la science arabe. Moyen âge, les traductions. Renaissance, Tartaglia et Cardan ; Copernic ; Paracelse. La première moitié du XVII^{ème} siècle : Viète, Napier, Bacon, Galilée, Kepler, Gilbert, Harvey, Descartes, Gassendi, Pascal.

Troisième trimestre, fin du XVII^{ème} siècle avec Newton et Huygens. Les progrès des mathématiques, Clairaut et la comète de Halley, Cuvier, d'Alembert. Le XIX^{ème} siècle avec les progrès de la physique et de la biologie...

Ce bref aperçu donne surtout les têtes de chapitre. On est un peu surpris de ne pas y lire des noms comme ceux d'Euler, de Gauss, de Lagrange, de Cauchy. Sans doute par souci de ne pas aborder des thèmes hors de la portée des lycéens. Ce programme reste cependant très ambitieux sans qu'aucune indication ne soit donnée sur le nombre d'heures

de cours nécessaires à son application. Parmi ses audaces, je relève : "Tentative pour soumettre aux méthodes scientifiques l'étude des questions sociales ; origine de l'économie politique et de la statistique" qui me semble marquée par l'influence de Condorcet.

POUR OUVRIR LE DEBAT

Pour un spécialiste d'histoire des sciences comme le fut, éminemment, Paul Tannery, il était naturel qu'il pense à un cours complètement consacré à l'histoire des sciences. Pour nous, enseignants, quel que soit le niveau de nos élèves (je me tiens à la formule "de la maternelle à l'université"), il ne s'agit pas d'ouvrir un cours d'histoire des sciences, de toutes les sciences, des mathématiques à la biologie en passant par la physique, la chimie, la géologie, etc (pour n'oublier aucune science). D'ailleurs imaginez un peu la compétence requise de l'enseignant qui aurait à appliquer le programme Tannery : il devrait savoir analyser les idées de Gilbert sur le magnétisme aussi bien que celles de Lamarck sur l'évolution et savoir discuter de la classification des sciences selon Auguste Comte. C'est seulement au niveau de l'enseignement supérieur qu'on peut imaginer un tel cours dont le développement serait assuré par un ensemble de spécialistes dirigés par un chef d'orchestre à la hauteur. Nous connaissons tous l'**Histoire générale des sciences** en quatre volumes qui fut dirigée par René Taton entre 1957 et 1964 ; quel audacieux oserait aujourd'hui reprendre une telle entreprise.

De façon que je crois plus réaliste, il s'agit pour l'enseignant d'introduire des considérations historiques dans l'enseignement de sa discipline. Et là, il peut s'inspirer des conseils de Tannery. Dans le style de son temps, il invoque les idées générales, là où j'aurais préféré mettre l'accent sur les grands problèmes, ceux dont la recherche a animé une époque aussi bien que ceux dont la solution a été marquée par une grande découverte. Si vous prenez l'exemple de la mesure des distances en astronomie, vous pouvez, tout au long d'une année scolaire, avoir dix occasions d'y revenir que votre poste soit d'enseigner des mathématiques ou de la physique. Inévitablement, vous serez amenés à citer des noms de savants illustres. Ce qui ne signifie pas que vous ayez à vous attarder sur le célibat de Newton ou les relations amoureuses de Clairaut.

Etant encore lycéen, j'ai eu la chance d'avoir un professeur de mathématiques passionné par la science des Grecs de l'antiquité ; grâce à lui, le théorème de Pythagore m'est toujours apparu comme un chef d'œuvre humain aussi admirable que le Parthénon ou le David de Michel-Ange. Depuis la place de lycéen que j'occupais alors, je crois avoir compris (en le vivant) qu'un bon enseignement, enrichissant pour l'élève, satisfaisant pour l'enseignant, est fondé sur un solide développement des connaissances de base, ce développement étant animé, rendu vivant et transmissible grâce à un pouvoir de communication d'importance primordiale. J'insiste sur ce pouvoir de communication ayant eu aussi des maîtres qui croyaient bien faire en attachant plus d'importance aux résultats (ceux des examens, des expériences ou des théories) qu'à la genèse des idées et à la

correction des errements de recherche. Beaucoup plus tard, n'étant plus lycéen mais devenu enseignant, j'imaginai une formule résumant, dans l'esprit de ce qui précède, la mesure d'un bon enseignement notée E, et qui se devait d'équilibrer le développement des connaissances de base, noté m, et le pouvoir de communication noté c. Il vint alors naturellement la formule $E = mc^2$ où l'exposant est sans doute venu par imitation de la belle formule d'Einstein mais que je justifie a posteriori en insistant sur le rôle primordial du pouvoir de communication de l'enseignant.

J'en reviens maintenant à l'enseignement de l'histoire des sciences. Comment voudriez-vous que je traite correctement de l'histoire de l'évolution des vivants si, enseignant de mathématiques, je n'ai sur ce chapitre passionnant de l'histoire des idées que des vues sommaires. J'aurais beau mettre l'exposant 3 ou 4 au c de la formule, si le paramètre m est du genre infinitésimal, E ne sera jamais bon. Ce qui me fait condamner le programme Tannery.

Au contraire, mettre ce qu'il faut d'histoire des (mathématiques) dans un enseignement de (mathématiques) – sachant que dans cette phrase vous pouvez remplacer le mot mathématiques par physique, chimie, biologie, anglais, allemand, dessin, etc – est un des moyens d'améliorer la portée culturelle d'un enseignement. En s'appuyant sur une forte valeur du paramètre m, je suis persuadé que l'histoire de la discipline scientifique enseignée influe favorablement sur le paramètre c. Surtout si les conseils et directions de Tannery sont pris en compte.

Mais il reste beaucoup à débattre sur les moyens. Par exemple, équilibrer "vie des hommes illustres" qui a son charme et les péripéties du voyage de Clairaut en Laponie peuvent contribuer à fixer dans la mémoire des élèves la vraie forme de la Terre. Mais j'aurais tendance à préférer orienter les élèves vers les problèmes qui marquèrent telle époque, par exemple vers 1920–30, le fameux "grand débat" sur le caractère galactique ou extragalactique des nébuleuses (aujourd'hui, la notion de galaxie semble très répandue mais on peut s'étonner qu'elle soit d'aussi fraîche date).

Pratiquement et pour en revenir exactement à l'enseignement de l'astronomie, le CLEA met-il à la disposition des enseignants tous les matériels ou moyens d'enseignement indispensables pour que cette présence de l'histoire enrichisse les activités des membres du CLEA ? Sont actuellement en préparation une brochure sur le problème des errants, une autre sur l'histoire de la Galaxie. Ne pourrait-on pas en souhaiter sur l'histoire de la spectroscopie en astronomie, une autre sur la vitesse de la lumière ?

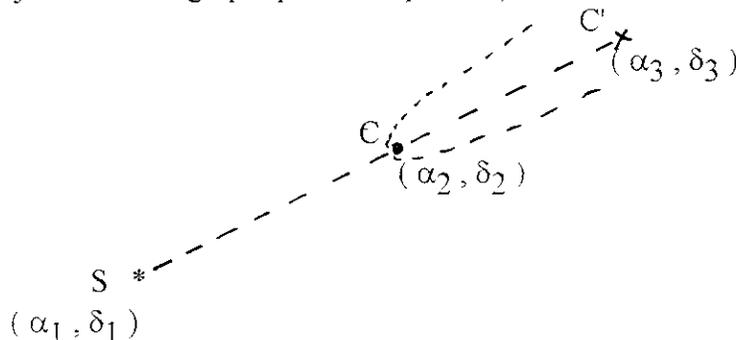
Mais auparavant, il faut débattre des principes et des moyens, réfléchir aux propositions de Paul Tannery et proposer, à la lumière d'un écrit de 1892 sur des solutions pour 1997 et les années à venir.

K.Mizar

Dans le document d'accompagnement de la série D8 figure la description de plusieurs activités possibles à partir des clichés. Diverses cartes du ciel complètent l'ensemble. Certaines des activités proposées méritent quelques précisions et compléments. D'autre part, le passage très spectaculaire de Hale-Bopp est susceptible de donner des idées de travaux réalisables ...

1. ORIENTATION DE LA QUEUE D'UNE COMETE

Il s'agit de faire constater dans l'activité 2, que la queue pointe dans la direction opposée au Soleil. La méthode *graphique* (très simple) préconisée ici ne peut donner qu'un résultat approximatif à cause du type de projection plane selon laquelle la carte 1 a été réalisée (projection dérivée de la projection stéréographique sur l'équateur).



En effet, " l'alignement " des points S (Soleil), C (tête de la comète) et C' (extrémité de la queue) se traduit par le fait que ces 3 points se trouvent sur un même *grand cercle* de la sphère céleste. Or, généralement un tel grand cercle ne se *projette pas suivant une droite ...* (sauf cas particuliers) mais suivant une courbe qu'il est possible de construire... Celle-ci est d'autant plus proche d'une droite que le point C est plus proche du pôle... et d'une façon plus générale, que la différence des ascensions droites de S et de C est plus proche de 12h ou de 0h.

La diapo n° 8 présente cette particularité. (voir figure 1).

Comment tracer la projection du grand cercle ? On connaît les positions de 2 points (S et C). L'étude analytique montre que la condition à remplir pour que 3 points soient " alignés " s'écrit :

$$\tan \delta_1 \sin (\alpha_2 - \alpha_3) + \tan \delta_2 \sin (\alpha_3 - \alpha_1) + \tan \delta_3 \sin (\alpha_1 - \alpha_2) = 0$$

Les couples α et δ de même indice se rapportent évidemment à un même point. (voir schéma). Les éphémérides du Soleil fournissent (α_1 , δ_1) pour un cliché donné (donc pour une date donnée). L'étude du cliché permet de déterminer (α_2 , δ_2) . A partir de là, on donne à α_3 des valeurs plausibles , au voisinage de α_2 et on calcule les valeurs correspondantes de δ_3 grâce à

$$\text{l'expression : } \tan \delta_3 = [\tan \delta_1 \sin (\alpha_2 - \alpha_3) + \tan \delta_2 \sin (\alpha_3 - \alpha_1)] / [\sin (\alpha_2 - \alpha_1)]$$

Puis avec les couples (α_3 , δ_3) ainsi trouvés, on trace la courbe points par points. C'est alors que l'on s'aperçoit qu'elle se confond avec la queue de la comète...

Il est également possible de déterminer approximativement sur la carte les couples (α_3 , δ_3) , après report de la trace de la queue.

Cela peut paraître fastidieux et laborieux , mais l'aide informatique est très appréciable.

En utilisant cette méthode, j'ai tracé les projections des grands cercles pour les diapos 2 , 8 et 14. Sur la même figure, on peut voir la trace de l'écliptique (obtenue par la même méthode) ainsi que les positions de Hyakutaké et du Soleil pour les dates correspondantes.

Remarques: L'utilisation d'un planétarium ou du ... parapluie céleste (voir Denise Wacheux) simplifie les choses en évitant ces calculs... Autre solution : utiliser une carte par projection sur un

plan parallèle à l'horizon car alors tout arc de grand cercle se projette suivant une droite...Mais malheureusement les constellations y sont très "déformées".

H
Y
A
K
U
T
A
K
E

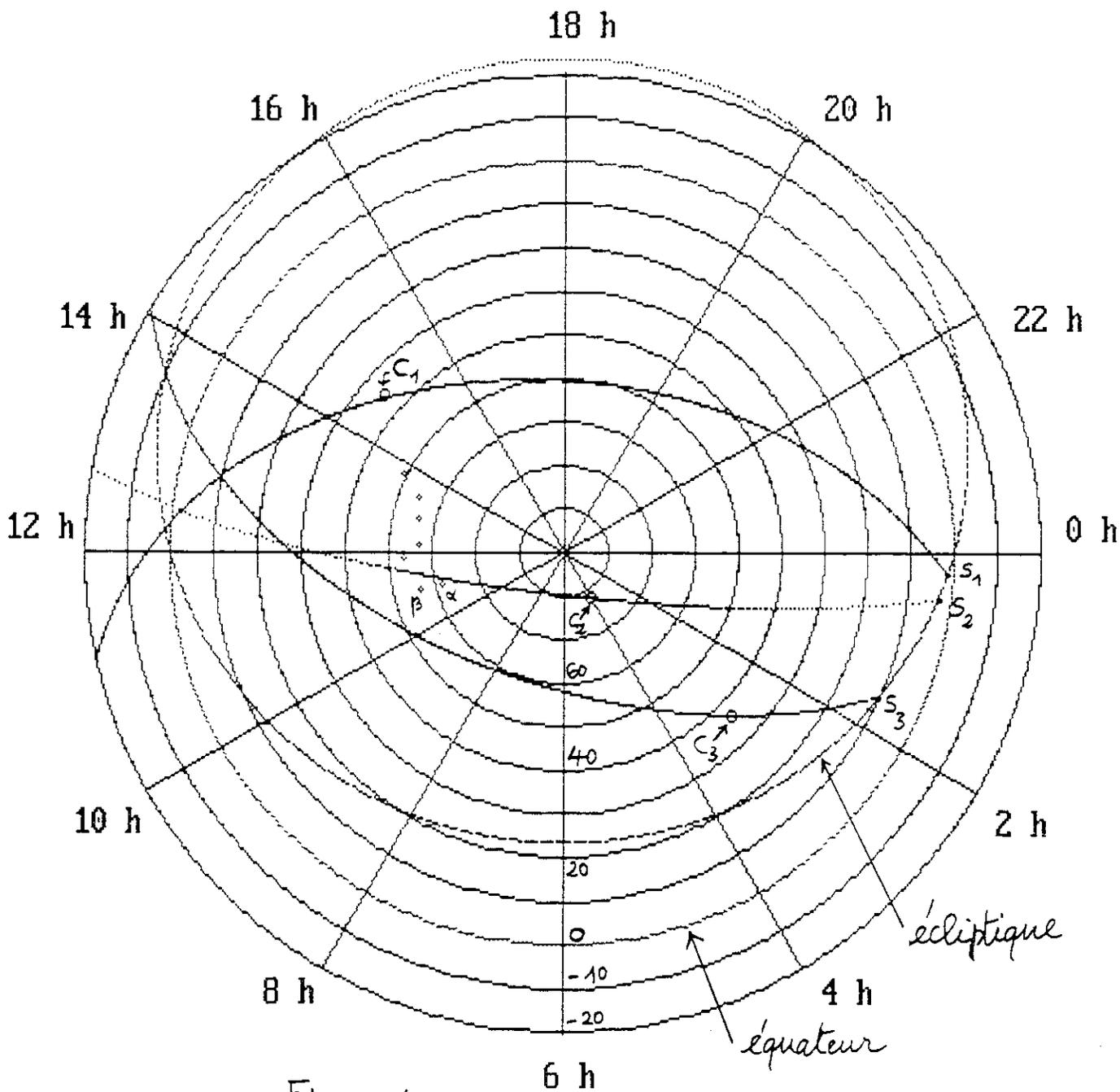


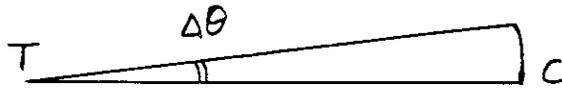
Figure 1

Sur la figure 1, la comète est représentée en C_1 , C_2 et C_3 respectivement pour les diapos 2, 8 et 14. Les points S_1 , S_2 et S_3 donnent les positions correspondantes du Soleil. On remarque notamment sur le très beau cliché n° 8 (bravo à Daniel TOUSSAINT) la queue "passant" au voisinage de l'étoile α de la Grande Ourse (celle, qui associée à β permet de trouver visuellement l'étoile polaire et le Nord céleste ... pour ne plus le perdre ...).

N.B. Pour obtenir plus de détails pour le tracé de cette figure, s'adresser à l'auteur de cet article.

2. VITESSE DE LA COMETE

L'activité 3 propose une étude de la vitesse relative de la Comète par rapport à la Terre (vitesse *géocentrique*). Les 5 positions successives photographiées pendant la même nuit permettent une approche intéressante de la notion de vitesse instantanée. On obtient un déplacement angulaire de $1,9^\circ$ pour un intervalle de temps de 2,5 h soit $0,76^\circ$ par heure . On constate aussi que le mouvement est *rectiligne uniforme* ce qui est logique compte tenu de la portion de trajectoire étudiée. La Comète étant à son périhélie, la vitesse linéaire est *tangentielle* ce qui permet facilement le calcul :



$$TC = 0,103 \text{ UA}$$

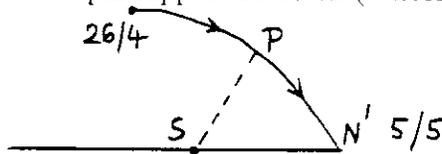
$$V = TC (\Delta\theta / \Delta t)$$

$$\text{soit } V = (0,103 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 0,76 \pi) / (3600 \cdot 180) = \underline{57 \text{ km s}^{-1}}$$

La satellisation autour de la Terre est donc impossible car $V > V_e$ ($V_e = 11,3 \text{ km s}^{-1}$)
 V_e est la vitesse d'évasion à partir de la Terre.

Si on prend les valeurs du tableau de mesures, on obtient un déplacement angulaire de 18° en 24 h ce qui conduit à $0,75^\circ$ par heure (résultats cohérents !)

L'activité 4 donne la description et les éléments nécessaires à la construction d'une maquette en 3 dimensions des trajectoires (mes élèves l'ont particulièrement appréciée , d'autant plus que dans la même activité figure la maquette relative à Hale-Bopp ...). D'autre part, on peut déterminer la vitesse de la comète par rapport au Soleil (vitesse *héliocentrique*).



Déplacement en 10 jours : 34 mm

$$\text{or } SP = 15 \text{ mm} \implies 0,23 \text{ UA}$$

$$\text{ainsi } C_1 C_2 = 0,23 \cdot 34 / 15 = 0,52 \text{ UA} \quad \text{et la vitesse est } V = (0,52 \cdot 150 \cdot 10^6) / (10 \cdot 24 \cdot 3600)$$

soit environ 90 km s^{-1} . Comme il s'agit de la vitesse de passage au périhélie, il est intéressant d'appliquer la formule classique pour une orbite parabolique (excellente approximation car l'excentricité est voisine de 1 ; $e = 0,99989\dots$)

$$\text{elle s'écrit } V = \sqrt{2 G M / SP} \quad \text{avec } G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI} \quad \text{et masse du Soleil } M = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

L'application numérique conduit à 88 km s^{-1} .

Remarque : Il est pédagogiquement très intéressant de faire remarquer qu'une vitesse est relative à un repère. Lors du passage de la Comète Hale-Bopp des vitesses très différentes étaient publiées dans les journaux sans précision du repère... L'occasion de faire le point avec des élèves dont l'esprit critique en éveil nous oblige à être vigilants...(merci à eux)...

Jean- Paul ROSENSTIEHL

adresse personnelle \implies 73, Bd Mutuel 72000 LE MANS

adresse occasionnelle \implies Lycée Montesquieu LE MANS

N.B. Merci aussi à Jacques VIALLE pour ses précieuses remarques.

LES COMETES EN 1997

La couverture des CAHIERS CLAIRAUT

Elle a été dessinée, en décembre dernier, par notre ami Daniel Bardin qui a voulu rendre hommage aux belles comètes Hyakutaké et Hale-Bopp tout en fêtant la vingtième année de notre revue.

Ce n'est donc pas par hasard que vous aurez dénombré vingt images de chevelures cométaires dans un carré de 20x20 cm.

Suivez maintenant le tracé très pédagogique de Daniel :

i = inclinaison du plan orbital de la comète par rapport au plan de l'écliptique

Ω = longitude du noeud ascendant comptée à partir de la direction du point vernal (la comète Hale-Bopp est passée au noeud ascendant le 28 février 1996, dans une direction proche, à l'époque, de celle de Jupiter)

ω = argument du périhélie de la comète compté à partir de la direction du noeud ascendant (pour la comète Hale-Bopp, le passage au périhélie a eu lieu le 22 mars 1997. Alors la distance de la comète au Soleil, q sur le dessin, fut égale à 1,32 ua)

Vous avez reconnu en r la distance de la comète au Soleil, en Δ la distance de la comète à la Terre.

Enfin, un dernier coup d'oeil, en haut à droite sur le dessin : Daniel a voulu vous rappeler la chute de la comète Shoemaker-Lévy P/1993 sur Jupiter en juillet 1994.

Comme toujours, l'ami Daniel dessine pour nous inviter à rêver quand nous recevons les CAHIERS. Sachant qu'à l'intérieur, il y a aussi du rêve et notre façon à nous de voir et d'étudier les réalités de l'Univers.

LA COMETE HALE-BOPP

La voici, telle qu'elle a été photographiée le mercredi 2 avril 1997 (à 19h30 UT) à Douai par notre Collègue Christian Mossler.

Précisions techniques : télescope de 260 mm (F/D = 4,6) avec correcteur de champ. Pose de 5 minutes sur TP 2415 Kodak non hypersensibilisé ; pose suivie avec lunette guide en parallèle et oculaire réticulé directement sur le noyau de la comète.

Félicitations à notre ami. Nous le remercions de confier cette belle image aux CAHIERS CLAIRAUT.

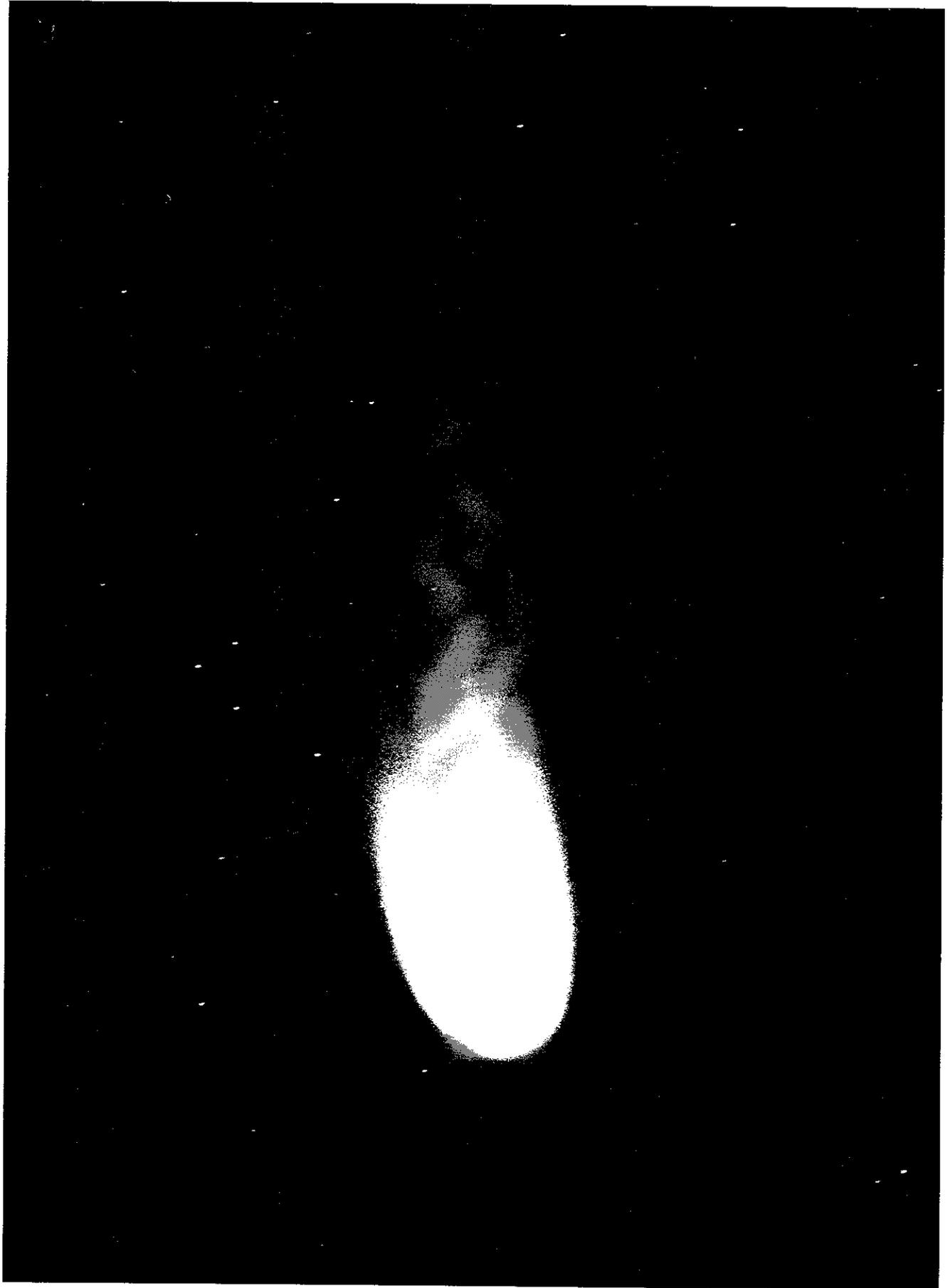
Sur la formule d'alignement

Dans son étude de la position de la queue de la comète Hale-Bopp, Jean-Paul utilise une formule, bien commode dans la circonstance, qu'il a trouvée dans un ouvrage de Jean Meeus. Certains lecteurs voudraient peut-être que la formule soit démontrée. En voici une justification très simple.

A l'astre A repéré par ses coordonnées équatoriales α et δ , associons le vecteur unitaire OA. Les axes de référence sont OY direction du point vernal, Oy à 90° dans le plan équatorial et Oz la direction du pôle boréal. Les coordonnées du Vecteur OA sont :

$$(\cos \delta \cos \alpha, \cos \delta \sin \alpha, \sin \delta)$$

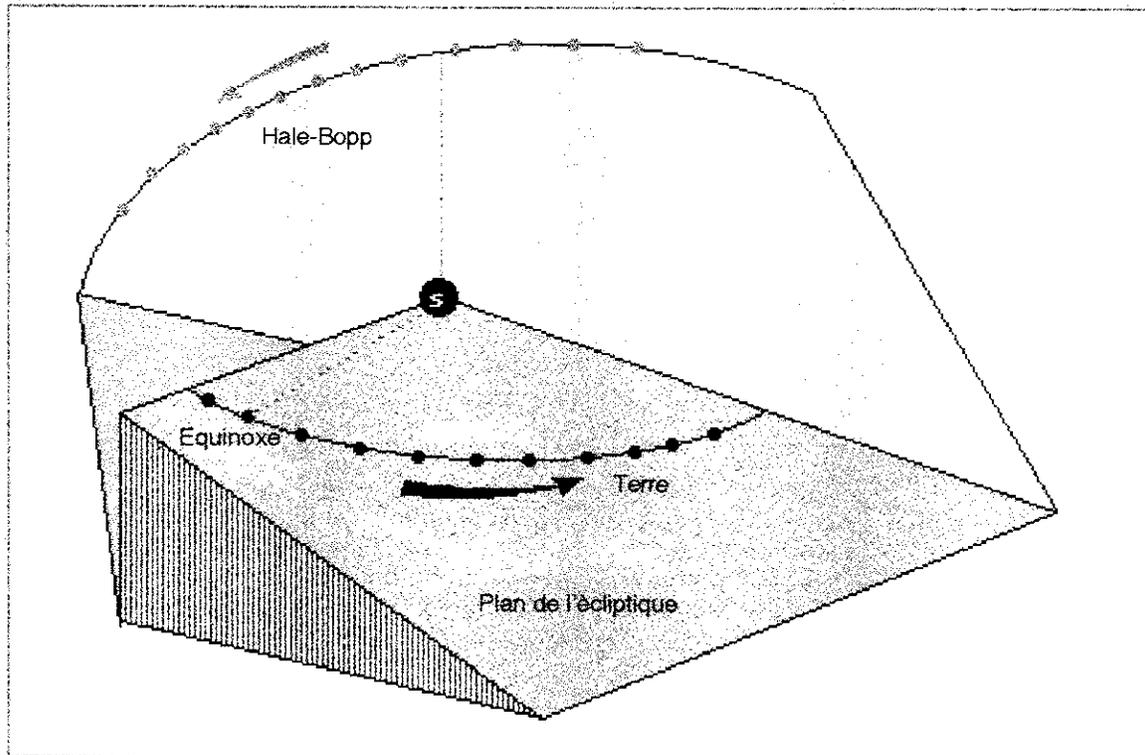
Pour exprimer que trois astres A_1, A_2, A_3 sont "alignés", c'est à dire situés sur un même grand cercle de la sphère céleste, il suffit d'écrire que les trois vecteurs OA_i avec $i = 1, 2$ et 3 sont linéairement dépendants : le déterminant de leurs 9 coordonnées est nul, cqfd. Admirer la chevelure de la comète n'exige pas de couper les cheveux en quatre.



Hale-Bopp avec ... de la colle et des ciseaux.

Voici une maquette, très simple à construire, qui permet d'avoir une vue en 3 dimensions des trajectoires respectives de la Terre et de la comète Hale-Bopp entre mars et juin 1997.

Photocopier la page suivante sur un bristol A4.
Découper le pourtour ainsi que le double trait.
Plier le long des traits. Plier les onglets hachurés.
Assembler et coller afin d'obtenir l'objet ci-dessous.



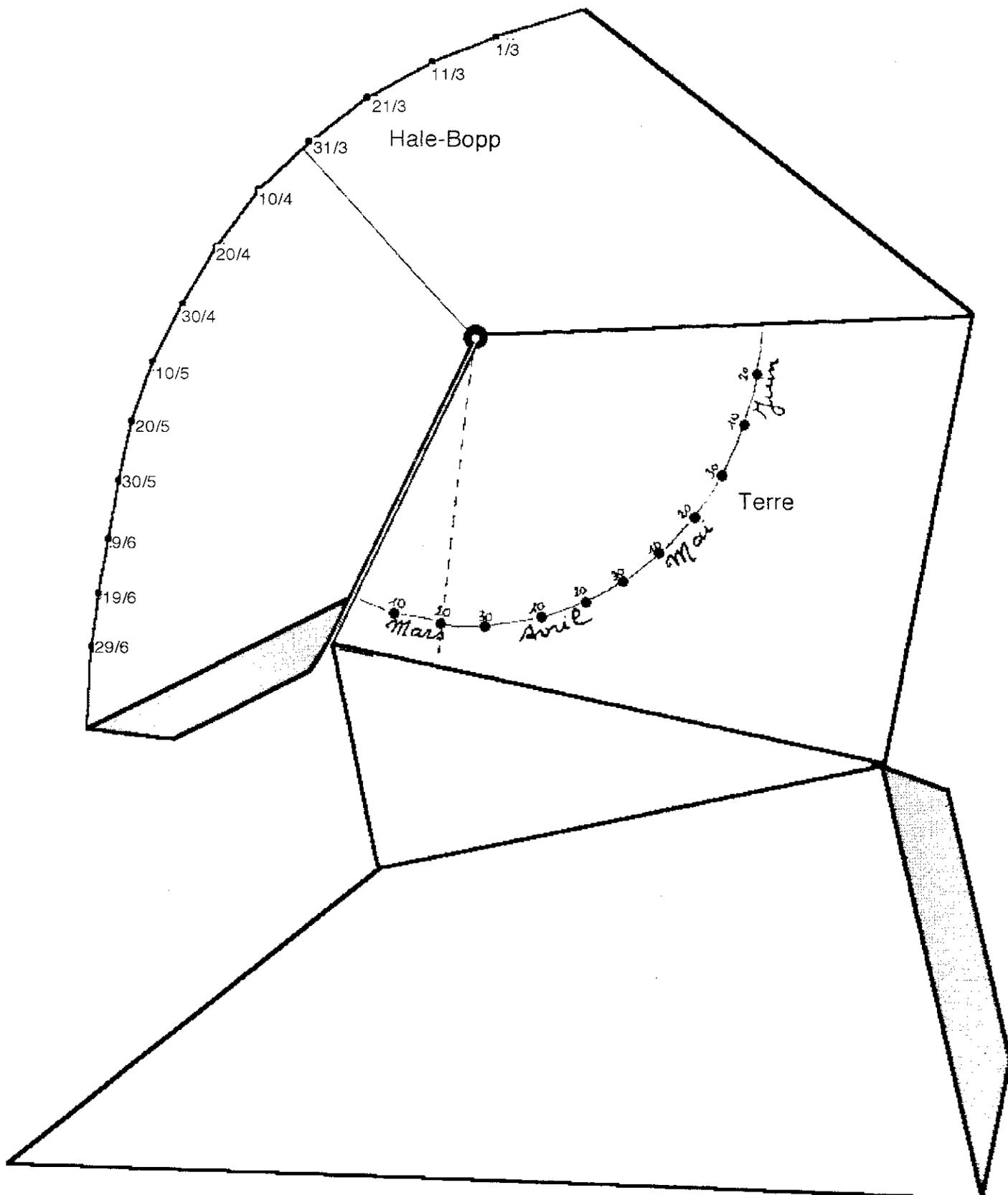
On peut se poser la question suivante : A quelle date la Terre passera près de la trajectoire de Hale-Bopp ? Et compte tenu de la dimension et de la queue de poussières de la comète, ce passage occasionnera-t-il un pluie d'étoiles filantes ?

NDLR : Petite histoire.

L'auteur Francis Berthomieu* a conçu et réalisé cette maquette dans sa province lointaine. Etant très impliqué dans les technologies d'avenir, il a fait parvenir son document à quelques collègues par la messagerie électronique. C'est ainsi que quelques minutes plus tard chacun de nous pouvait réaliser l'objet et l'avoir sur son bureau. Impressionnant mariage de la colle, des ciseaux et d'Internet !

* e-mail : berthomi@pelat.ac-nice.fr

Jacky Dupré



"AVENTURE EN LIGNE" pour la classe 203

par Francis Berthomieu

L'aventure, pardon... l'Aventure a commencé le jour même de la rentrée.

Les 35 élèves de cette classe de seconde du Lycée Jean Moulin de Draguignan ont aussitôt compris qu'ils allaient beaucoup voyager... Sur Terre d'abord, puis sur mer, et dès ce premier jour de classe, dans l'Univers !

Le premier cours de sciences physiques fut en effet une prise de contact visuel avec les ordres de grandeurs : l'album «Les puissances de dix» (BELIN éditeur) en était la vedette.

Equinoxe et latitude...

Quelques jours plus tard, c'était déjà l'Automne. En ce jour d'Equinoxe, particulièrement faste, l'équipe fut chargée d'observer et de repérer, de 11 heures à 17 heures, la course de l'ombre d'un petit gnomon de 10 cm, planté verticalement sur une planchette horizontale... Une exploitation raisonnée de ce tracé permit de faire quelques déductions remarquables :

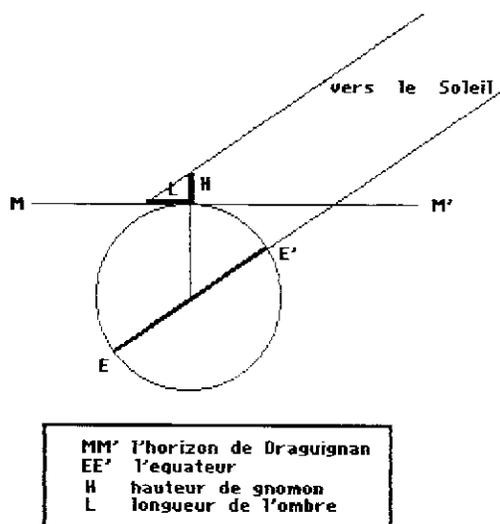
Ce jour-là en effet,

- le Soleil sembla se déplacer dans un plan ... qui passait par Draguignan.
- l'ombre du gnomon eût une longueur minimale à 13 h 25 (temps légal)
- cette longueur minimale était de 9,5 cm

La consultation du professeur de Géographie s'avéra alors profitable : ne venait-il pas justement de traiter dans son cours les notions de latitude et de longitude ?

Et voilà que resurgissent aussi quelques souvenirs plus anciens :

- Certains rappellent qu'aux jours des Equinoxes, le Soleil est au zénith de l'Equateur terrestre !
- D'autres indiquent que nous avons vu le Soleil culminer à une certaine « hauteur angulaire » α au dessus de l'horizon et jugent intéressant de déterminer la valeur de cet angle.
- Les forts en maths ont même pensé que la tangente de cet angle vaut $10 / 9,5$!
- Les calculettes ont aussitôt donné la valeur de α : on trouve $\alpha = 46,5^\circ$



Révisant rapidement le cours de géographie, les plus rapides auront trouvé que notre latitude λ est le complément de α et vaut $90^\circ - 46,5^\circ = 43,5^\circ$

Eclipse de Lune et mesures astronomiques...

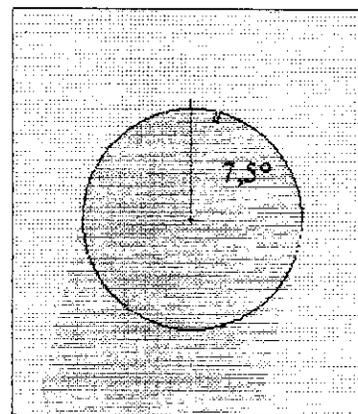
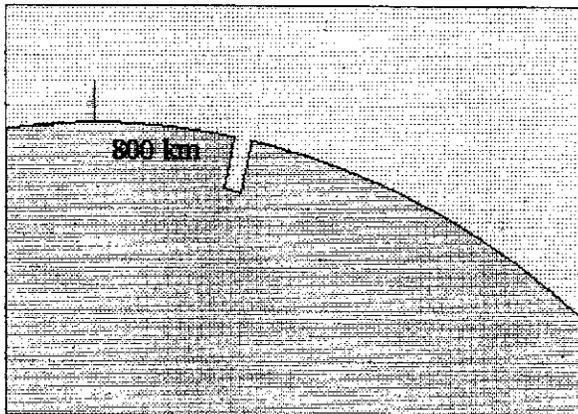
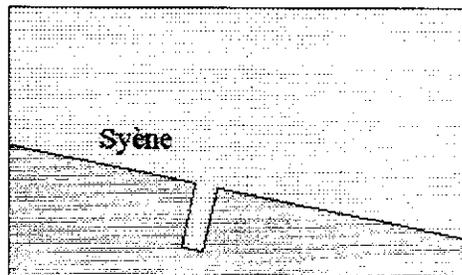
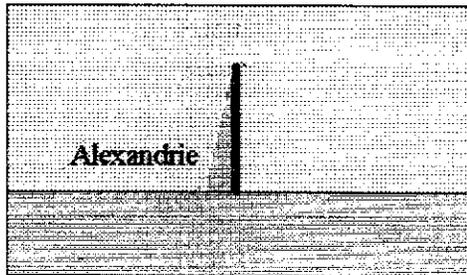
Le goût pour les mystères du Ciel étant pris, il ne restait plus qu'à se fier à notre bonne étoile...

Un nouvel événement important était annoncé pour la nuit du 28 au 29 Septembre : La Lune avait rendez-vous ... avec l'ombre de la Terre !

Avouons le, rares sont ceux qui eurent le courage de faire sonner le réveil... mais quelques uns furent témoins du début de la rencontre, et quelques autres de sa fin ! Regrets ! Pas de photos...

Mais INTERNET est là, (enfin presque: le Lycée étudie la possibilité de se connecter mais se heurte à quelques problèmes techniques. Le professeur de physique sert de relais) : Voilà une belle photo de l'éclipse de Lune, recueillie sur le serveur de l'ESO, où l'opération européenne «Astronomy On Line» se met en place, sous la houlette de l'EAAE, avec l'appui logistique (en France) de l'Institut d'Astrophysique de Paris, du CNDP, et de l'Inspection Générale.

Par un autre heureux hasard, le programme de physique nous propose justement d'étudier les propriétés de la lumière et nous avons dû analyser un texte présentant la méthode mise en oeuvre par Eratosthène pour déduire la taille de la Terre.



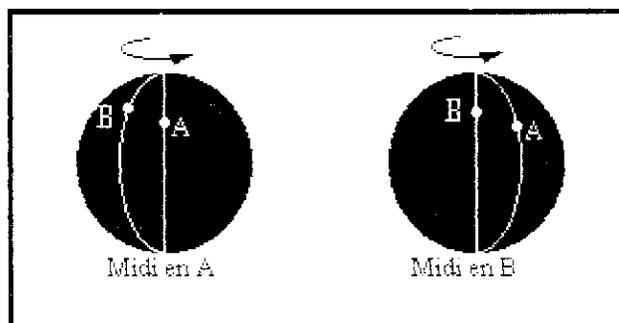
Un logiciel, mis au point en 1994 par une autre classe pour les Olympiades de Physique, nous permet de mettre en pratique la méthode d'HIPPARQUE pour calculer une valeur approchée de la taille de la Lune. Le théorème de THALES est mis une nouvelle fois à l'oeuvre pour estimer, en l'appliquant à la géométrie du système optique du télescope, la distance de la Terre à la Lune...

Eclipse et Longitude...

Mais voici une autre découverte ! Les diverses équipes européennes qui ont participé à l'opération «Astronomy On Line» ont observé comme nous le Soleil et la Lune : ils ont comme nous déterminé l'heure légale du "midi solaire" et noté les heures de commencement et de fin de l'éclipse...

Les résultats surprennent certains : L'éclipse a commencé et fini rigoureusement au même instant pour tous les observateurs... Par-contre, l'ombre du gnomon n'atteignait pas sa longueur minimale à la même heure partout ... Comparons par exemple les résultats obtenus à Draguignan et à Murska Sobota (Slovénie)

Le début de l'éclipse a eu lieu au même instant, mais s'il était 11h25 (T.U) chez nous lors du midi solaire, il était seulement 10h 50 (T.U.) à Murska Sobota lorsque le Soleil y culmina.



Ce décalage de 35 minutes nous permet alors de calculer la différence de longitude entre les deux points d'observation: Sachant en effet qu'un écart de 4 minutes correspond à 1 degré (souvenons nous que la Terre tourne de 360 degrés en 24 heures...ou 15 degrés en une heure !) nous trouvons un écart angulaire d'environ 9 degrés, résultat sans doute imprécis, mais que confirme un coup d'oeil aux cartes de géographie:

Draguignan : longitude $6^{\circ} 30'$

Murska Sobota : longitude $15^{\circ} 48'$

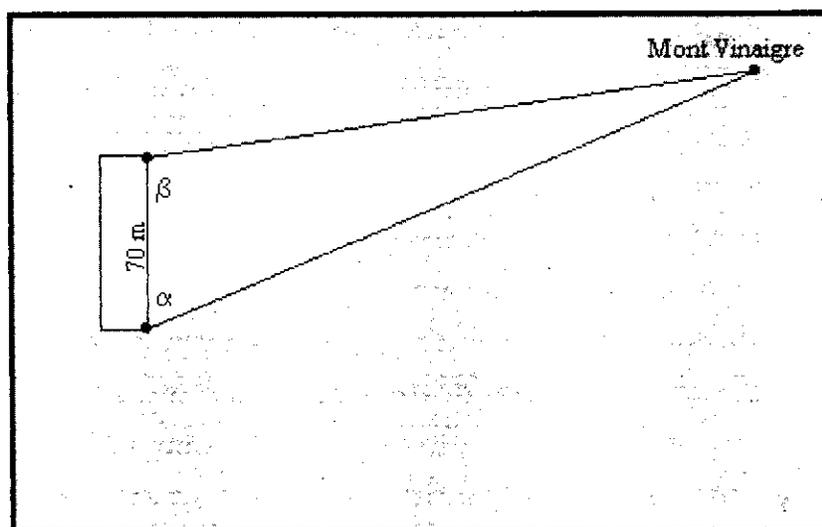
Voyages et parallaxe...

Mais le temps presse : il faut désormais s'occuper de la mise en place matérielle de notre séjour d'une semaine sur l'île de Port-Cros. L'équipe pédagogique a prévu d'y transplanter la classe. L'Office Départemental pour l'Education et les Loisirs (ODEL) y dispose d'un centre qui accueille des groupes de jeunes, de l'école élémentaire à la Terminale. Parmi les multiples activités que nous y pratiquerons (découverte historique des forts de l'île, de la flore, de la géologie, des problèmes posés par le ravitaillement en eau, des activités liées au Parc National marin... sans oublier parties de cartes, de baby-foot et batailles de polochon), l'astronomie aura une place de choix : n'annonce-t-on pas justement une éclipse de Soleil ?

L'île est petite, mais escarpée ; les promenades sont longues et fatigantes... mesurons donc quelques distances... sans nous déplacer !

Juchés sur le toit en terrasse du Fort de l'Eminence qui nous héberge, nous avons réinventé les méthodes de triangulation pour mesurer la distance qui nous sépare du Mont Vinaigre, point culminant de l'île. La propagation rectiligne de la lumière est encore une fois utilisée pour mettre le problème en équations.

Nous construisons un triangle dont la base s'étend tout le long des 70 mètres de la façade du Fort, et dont le sommet est le Mont Vinaigre...



Il ne reste plus qu'à construire l'instrument qui nous permettra de mesurer quelques angles essentiels et à établir les équations utiles. Nous trouverons $\alpha = 78^{\circ}$ et $\beta = 98^{\circ}$. Les calculs de trigonométrie sont encore un peu délicats en ce début d'année ; face à l'urgence, les notions de base sont rapidement assimilées et fournissent un résultat satisfaisant : nous ne vérifierons pas avec une chaîne d'arpenteur, mais en effectuant quelques rapides mesures sur la carte topographique de Port-Cros... Nous trouvons environ 1 km... Et vous ?

Parallaxe et éclipse de Soleil...

Quelle coïncidence ! "Astronomy on Line" propose justement sur Internet un projet de collaboration entre tous les lycéens d'Europe : l'objectif est de mesurer la distance de la Terre à la Lune par ... triangulation. Le triangle a une base qui joint deux villes d'Europe... et la Lune en est le sommet. Quant aux calculs, ils ressemblent assez aux nôtres pour que nous nous lancions dans l'aventure.

Nous devons cependant adapter la méthode que propose Internet : le dispositif dit "de la chambre noire" n'est pas facilement réalisable dans le fort (où les fenêtres donnant au Sud ne sont que d'étroites meurtrières...). Ce sera donc la méthode "du miroir" mise assez facilement au point et donnant sur un écran de papier une image bien nette du Soleil : il ne restera plus qu'à attendre l'arrivée de la Lune.

Le temps nous presse hélas un peu : l'éclipse débute à 13 h 24 min (T.U.) mais le bateau ne nous attendra pas. Nous ne pourrons faire que deux séries de mesures autour de 13h45 et 14h00 (Temps Universel) avant de gagner le bateau. Le voyage de retour vers le continent sera idéal pour goûter les rayons adoucis du Soleil et observer l'éclipse avec nos lunettes de mylar... Coïncidence encore ? L'éclipse prend fin très exactement à l'instant où nous acostons...

Résumons la suite : la méthode de la parallaxe sera appliquée en croisant des résultats venus de Dijon (merci aux élèves de Pierre !). Le Mans (merci à ceux de Jean-Paul !), Pirmasens (Allemagne), Nova Gorica (Slovénie), ou Athènes (Lycée allemand)... donnant lieu à un compte-rendu spécial sur le journal d'AOL... La distance de la Terre à la Lune est correctement estimée. Il ne restera plus qu'à se mettre à réviser sérieusement notre anglais pour vérifier que les résultats obtenus par les tirs laser du CERGA sont compatibles avec les nôtres : c'est en effet dans cette belle langue que Frédéric Dahringer a rédigé un exercice pour la rubrique "Try your skills" d'Astronomy on Line.

Epilogue en Terre Sainte...

L'année scolaire va se poursuivre. Le Club Astronomie du lycée recrute... Une des premières activités est encore venue d'A.O.L. : nous avons tous testé la méthode de Nicolas, évêque islandais du 12^e siècle : en route pour la Terre Sainte, il affirmait que la bonne latitude serait atteinte le jour où, couché sur le sol, les pieds dirigés vers le Nord, le genou replié, le poing posé sur ce genou avec le pouce relevé, il serait possible d'observer l'alignement de ce doigt avec l'étoile Polaire...

Ne nous demandez pas s'il avait ou non raison, nous ne vous le dirons pas : Tentez donc vous aussi l'expérience !



*La gravure ci dessus provient de
Soren Thirslund Naval Museum, Helsingor
tirée du serveur: Astronomy On Line.*

PS : Vous pourrez retrouver ce compte-rendu, agrémenté d'images et d'informations complémentaires sur internet...
Connectez-vous avec <http://www.ac-nice.fr>

Vous pourrez même y télécharger un logiciel qui fera de vous un HIPPARQUE du XXI^e siècle !

Un parcours diversifié en classe de 5^{ème} au Collège d'Aix-en-Othe :

Nos mesures du Temps plongent leurs racines dans le Zodiaque

Conditions d'enseignement :

Tous les élèves de 5^{ème} du Collège d'Aix-en-Othe ont participé, au rythme de deux heures hebdomadaires, à deux parcours diversifiés différents, durant l'année scolaire 1996-97. Les groupes ont été constitués par les professeurs d'après les choix exprimés par les élèves (qui avaient classé en juin par ordre de préférence huit sujets couvrant un large éventail disciplinaire).

Deux groupes d'un effectif d'une quinzaine d'élèves se sont succédés sur ce parcours pendant un semestre chacun. La première séance a débuté par un test de connaissances (non noté) destiné à mettre en évidence les questions à aborder. A la dernière séance, un nouveau test permet de constater les éventuels progrès (seuls trois élèves du premier groupe ne semblent avoir tiré aucun profit de ce parcours ; avec le deuxième groupe, le parcours n'est pas encore terminé quand ces lignes sont écrites, mais ils sont tous intéressés).

Objectifs pédagogiques du parcours "Nos mesures du Temps..." :

Inciter les élèves à vérifier par eux-mêmes qu'il n'est pas surprenant que certaines planètes soient connues depuis l'Antiquité : ce sont les astres les plus brillants du Zodiaque.

Faire constater que les planètes ont changé de statut : après avoir été des Dieux célestes qui rythmaient la vie des humains, elles sont devenues des objets matériels de même nature que la Terre.

Retrouver dans nos habitudes quelques survivances du passé, tel l'ordre des jours de la semaine qui n'a plus d'autre justification que la coutume.

Matériel et documents utilisés :

Logiciels et diapos du CLEA et de l'AFA. Céléscope. Cartes de ciel mobiles.
"Que sais-je ?" datant de 1948 : "Le calendrier" de Paul Couderc.
Calendrier des Postes

Contenu :

•Exemples de problèmes :

- * quelles sont les racines des noms de chaque jour de la semaine ?
- * comment pouvait-on lire la durée d'une année, d'un mois, d'une semaine quand le calendrier des Postes n'était pas disponible ?

•Eléments de solutions :

(découverts en utilisant les documents cités précédemment).

* il est facile de voir que les jours de la semaine rappellent les noms des planètes et de la Lune. Cependant le dimanche pose problème : en allemand ou en anglais c'est le jour du Soleil. En français, c'est sûrement vrai aussi, mais le sens des mots a pu glisser ainsi : le "Soleil" est le "Seigneur" ou "Dominicus" devenu "Dimanche".

* l'observation des logiciels de simulation de Ciel permet de mettre en évidence deux types de mouvements apparents :

- le mouvement diurne auquel sont soumis tous les astres (le mouvement diurne du Soleil rythme les jours et les nuits),
- et la dérive lente de 7 astres brillants dans le Zodiaque.

L'observation de cette lente dérive permet de définir plusieurs mesures du temps :

- la Lune boucle rapidement le tour du Zodiaque et la durée de ce tour, qui est proche de la durée d'un cycle complet de ses phases, peut être à l'origine du mois.
- le Soleil fait aussi le tour du Zodiaque (mais c'est plus facile à voir sur un logiciel que dans la nature) et ce tour peut définir l'année.
- la semaine correspond à une phase de la Lune mais il ne semble pas logique d'attribuer les noms des planètes aux jours.

* pour retrouver l'origine des jours de la semaine, il faut d'abord se demander à quelle époque cette notion est apparue. Comme c'est en Mésopotamie plusieurs siècles avant l'ère chrétienne, il n'est pas étonnant que la définition des jours n'obéisse pas à la logique de Descartes ! L'étude de cette construction patiente fournit l'occasion de voir la différence entre un raisonnement scientifique et un raisonnement analogique. Le livre de Paul Couderc permet d'imaginer les analogies qui ont pu servir à élaborer la semaine. Evidemment il vaut mieux présenter cette construction comme un jeu plutôt que comme un exemple à apprendre.

Le détail de ce jeu est donné en annexe.

Compléments :

Même si ce n'est pas dans le descriptif du parcours, quand l'actualité l'imposait, les élèves ont bénéficié de quelques renseignements techniques leur permettant de profiter des événements astronomiques (comète, éclipse...).

Annexe : des planètes aux jours de la semaine.

•Données :

Depuis la "nuit des temps", les humains ont repéré cinq astres brillants ayant un mouvement bizarre le long du Zodiaque et deux astres encore plus brillants, la Lune et le Soleil.

En Grec le mot "planetes" qui signifie "astre errant" désigne ces cinq points brillants dans le ciel. Quant aux deux disques Soleil et Lune, ce sont des "luminaires".

Les déplacements apparents de ces astres s'effectuent à des vitesses différentes : Saturne est le plus lent et la Lune est la plus rapide ; les vitesses croissent si on classe ces 7 astres dans l'ordre suivant : Saturne, Jupiter, Mars, Soleil, Vénus, Mercure, Lune.

Dès l'Antiquité, en Mésopotamie, le jour et la nuit avaient été partagés en chacun 12 heures soit 24 heures pour un tour complet des étoiles autour du pôle.

•Interprétations (à la mode Babylonienne) :

Le nombre 7 est sûrement magique puisqu'il y a 7 astres mobiles dans le Zodiaque, et qu'en plus une phase de Lune dure 7 jours et ... qu'il y a 7 trous dans la tête des humains !

Ce genre de raisonnement qui nous paraît absurde est pourtant à l'origine des 7 péchés capitaux, des 7 Merveilles du Monde, des 7 nains de Blanche-Neige et même des 7 couleurs de l'arc-en-ciel (si Newton n'avait pas cru à la magie, qui donc aurait vu l'indigo ?).

Le rythme du Soleil indique les changements saisonniers, ce qui est fondamental pour une population agricole.

Le rythme de la Lune donne les périodes où peuvent se tenir les fêtes nocturnes (quand la Lune est pleine, la nuit est claire), ce qui a aussi son importance...

Il n'est pas possible que les planètes qui ont un mouvement apparent si intrigant ne soient pas les messagers des Dieux, sinon les Dieux eux-mêmes.

Alors, il est apparu nécessaire de placer chaque heure et chaque jour sous la protection d'un Dieu céleste. C'est ce qui est à l'origine des noms des jours de la semaine.

•Mais pourquoi l'ordre des jours n'est-il pas l'ordre des planètes ?

Le livre de Paul Couderc permet de se faire une idée des règles compliquées qui ont pu déterminer l'ordre des planètes :

Plaçons d'abord le premier jour et la première heure de ce jour sous la protection du Dieu le plus sage. Dans une civilisation patriarcale, le plus sage ne peut être que le plus vieux, celui qu'on reconnaît à la lenteur de ses mouvements, c'est-à-dire Saturne. Le premier jour, consacré à Saturne, sera donc samedi. Mais, deux protections valant mieux qu'une, chaque heure du samedi bénéficiera en outre de la bienveillance d'un autre Dieu choisi dans la liste des planètes et luminaires classés par ordre de vitesse croissante.

Les autres heures du samedi sont consacrées à Jupiter, Mars, Soleil, Vénus, Mercure, Lune dans cet ordre ; à partir de la 8^{ème} heure, on prend les mêmes et on recommence par Saturne.

Ainsi le samedi est entièrement consacré à Saturne avec une protection renforcée pour les heures suivantes : 1^{ère}, 8^{ème}, 15^{ème}, 22^{ème}.

Une deuxième série d'heures (2^{ème}, 9^{ème}, 16^{ème}, 23^{ème}) est consacrée à Saturne (le Dieu du jour) et à Jupiter (le Dieu de l'heure).

La série des heures suivantes (3^{ème}, 10^{ème}, 17^{ème}, 24^{ème}) est consacrée à Saturne (le Dieu du jour) et à Mars (le Dieu de l'heure).

La 25^{ème} heure du samedi, qui n'est autre que la 1^{ère} heure du 2^{ème} jour sera donc consacrée au Dieu Soleil (qui suit Mars dans la liste). C'est pour cela que ce jour s'appelle "Sunday", "Sonntag" ou "Dimanche".

En continuant de même jusqu'au retour de la première heure du samedi on peut savoir quel Dieu protège chaque jour et chaque heure, ce qui permet de définir l'ordre des jours de la semaine.

La règle cachée dans cette suite d'opérations n'est autre que la division de 24 (nombre d'heures dans une journée) par 7 (nombre de jours dans la semaine). Le reste de la division indique le décalage de 3 rangs qui permet de choisir le Dieu du jour suivant.

Pour les élèves de 5^{ème}, cette division sera avantageusement remplacée par la jolie étoile tirée du livre de Paul Couderc (voir schéma), assortie des règles suivantes :

1- Placer les planètes sur un cercle dans l'ordre croissant de rapidité des mouvements apparents (Saturne, Jupiter, Mars, Soleil, Vénus, Mercure, Lune).

2- Pour avoir le Dieu de l'heure, faire le tour dans le même sens en numérotant chaque planète de 1 jusqu'à 25 (Saturne porte les n° 1 ; 8 ; 15 ; 22).

3- Le 25 se place naturellement sur le Soleil, 3 rangs après Saturne : il suffit donc de décaler de 3 rangs à chaque fois pour trouver le nom du jour suivant.

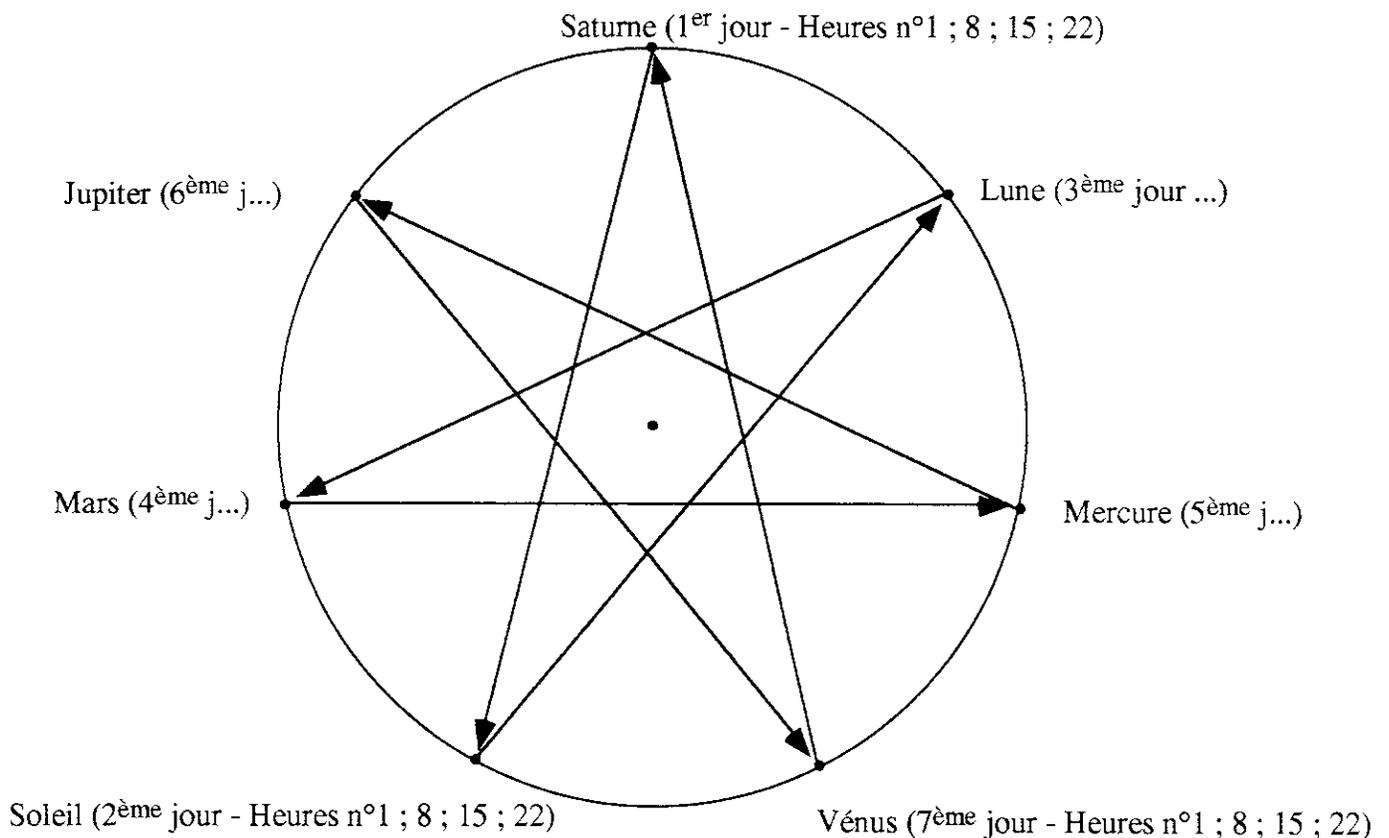
La règle paraît encore bien compliquée, aussi il n'est pas étonnant que l'usage en soit perdu, même si l'étoile a pu subsister quelque temps. Mais le plus étonnant est encore que l'ordre des jours de la semaine se soit maintenu alors qu'il n'a plus d'autre justification que le recours à la tradition !

Conclusion provisoire :

Alors que j'écris ces lignes (début mai 1997), je peux déjà constater que la plupart des élèves semblent tirer profit de ce genre d'exercices (à condition qu'ils ne soient pas trop nombreux dans la classe) mais les parcours diversifiés ne me semblent pas promis à un aussi bel avenir que les jours de la semaine !

Daniel Toussaint

L'étoile qui permet de placer les heures
et les jours de la semaine sous la protection
des "planètes" et des "luminaires"



Le cadran solaire de Freeman (2)

Paul Perbost (Nice)

5. Voir l'heure au carrefour en toute latitude

L'indicatrice des coordonnées horizontales

La parallèle à la méridienne, tracée sur la table (m) par le point i' , coupe son bord inférieur au point Δ tel que

$$S\Delta = l \cos h \sin a \quad (\text{cf fig. 3})$$

Nommons cette droite "indicatrice des coordonnées horizontales" puisque son abscisse n' est fonction du couple (a,h), une fois l choisie. Nommons-la (i'').

Toute translation de (m) effectuée parallèlement à la méridienne laisse cette indicatrice globalement invariante. De ce fait, elle conserve toute l'information que véhicule l'indicatrice. On peut donc faire glisser la table (m) sur un support horizontal fixe, dans la direction indiquée, sans altérer l'information qu'elle détient. Cette remarque est capitale pour la réalisation effective du cadran.

Il faudra naturellement disposer sur la table (m) un réseau de parallèles équidistantes, aussi fin que possible, dans la direction de l'indicatrice modèle que l'on vient de définir, afin que chacune des droites de ces réglures devienne à son tour une telle indicatrice en son temps.

A titre indicatif on peut considérer qu'un espacement régulier de l'ordre de 2,5 mm entre les barreaux de cette échelle assurerait une estimation correcte de la position du point Δ . Une feuille de papier millimétré pourrait convenir, d'autant plus que ses traits régulièrement renforcés faciliteraient l'identification visuelle de l'indicatrice qui passerait au plus près de l'extrémité I' de l'ombre du gnomon.

Dans ce qui suit, nous examinerons comment ajuster les translations de (m) aux coordonnées H et δ du Soleil. Nous allons voir qu'il suffit de munir le support horizontal de deux échelles fixes, l'une pour la déclinaison, l'autre pour l'angle horaire afin de pouvoir y déterminer l'heure. Ainsi, tandis que la table mobile (m) pourrait être nommée la table des coordonnées horizontales, emportant avec elle son gnomon orientable, le support fixe, désigné par (F), serait la table des coordonnées horaires.

6. Construction des lignes horaires et de l'échelle de déclinaison

a) Lignes horaires

Précisons d'abord que l'on peut donner à m la forme carrée : soit O le centre de cette table mobile (fig.4). S et N désignent les points où l'indicatrice de type (i') passant par O traverse les bords de (m), N étant l'extrémité nord de ce segment indicateur. Il

On en déduit aussi

$$F_0 S = y = d \frac{1 - \cos \delta}{1 - \cos \epsilon}$$

Cette égalité règle la graduation de l'échelle E_δ . Ne comportant que des cosinus, elle englobe à la fois les valeurs positives et négatives de la déclinaison. On peut indiquer ses divisions par intervalles de 1° , en accentuant la numérotation de celles qui marquent les multiples de 5° .

c) Esquisse des échelles complètes E_H et E_δ

La figure 6 donne un exemple de l'assemblage de ces échelles sous format réduit. Sa mise en place détaillée nécessite de nombreux calculs numériques. Convenablement programmés et soumis aux procédés modernes de tracés automatiques, leur réalisation effective s'en trouvera grandement facilitée.

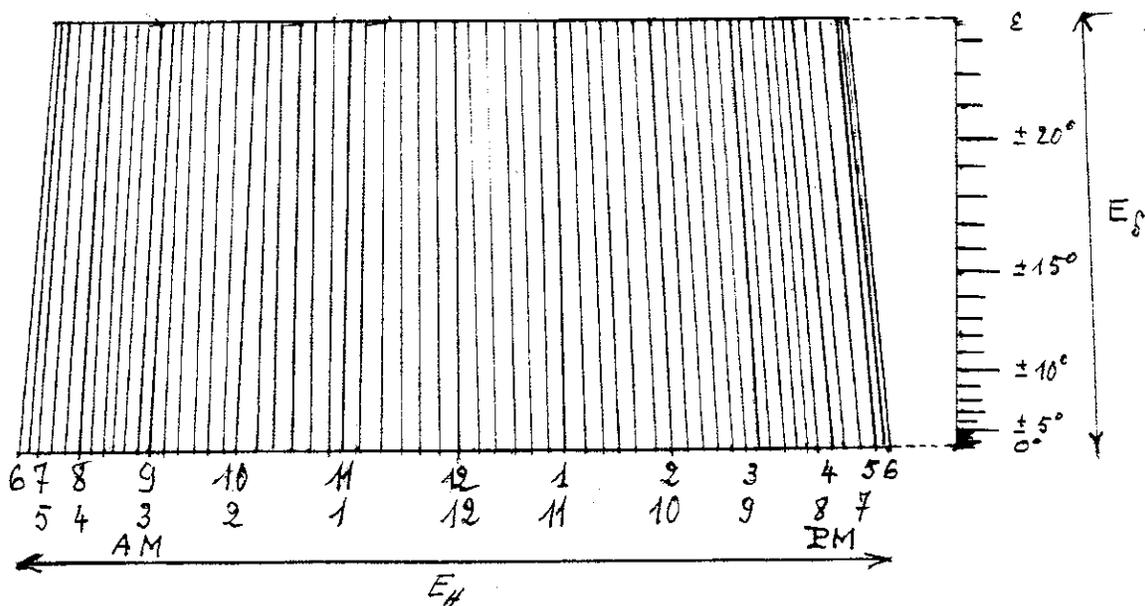


fig.6

7. L'astroïde face à l'astre du jour

Nous allons maintenant établir les équations du bord du gnomon courbe, dans le repère orthonormé (Oxy) (cf fig.3).

Le segment I'L' de longueur constante l, reste tangent à ce bord. De plus il coupe Ox en I' et Oy en L' tels que

$$OI' = l \cos h$$

$$OL' = l \sin h$$

Il s'agit donc de déterminer l'enveloppe de ce segment dont les extrémités se déplacent sur sur deux droites perpendiculaires données, Ox et Oy. Dans le repère considéré, la droite (I'L') a pour équation

$$\frac{x}{l \cos h} + \frac{y}{l \sin h} - 1 = 0$$

Pour déterminer son enveloppe, dérivons cette équation relativement à h :

$$-\frac{x \sin h}{\cos^2 h} + \frac{y \cos h}{\sin^2 h} = 0$$

On a donc à résoudre le système linéaire

$$\begin{aligned} \frac{x}{\cos h} + \frac{y}{\sin h} &= l \\ -\frac{x \sin h}{\cos^2 h} + \frac{y \cos h}{\sin^2 h} &= 0 \end{aligned}$$

ce qui donne

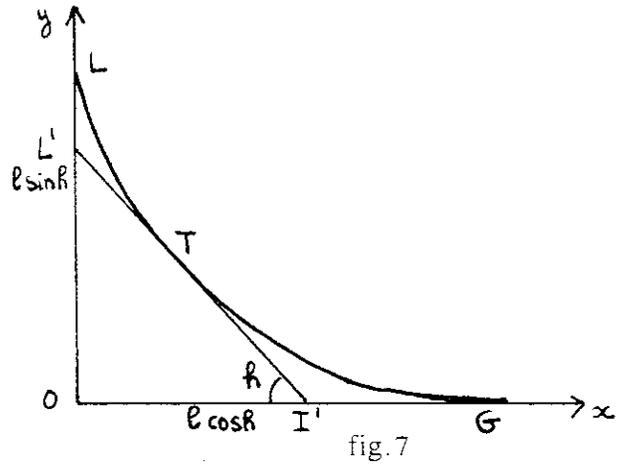
$$x = l \cos^3 h$$

$$y = l \sin^3 h$$

qui sont les équations paramétriques de la courbe cherchée dont l'équation cartésienne est

$$x^{2/3} + y^{2/3} = l^{2/3}$$

Cette courbe est connue sous le nom d'astroïde. Nous n'en représentons que le quart (fig.7).



8. Le gnomon plein et son châssis stabilisateur translucide

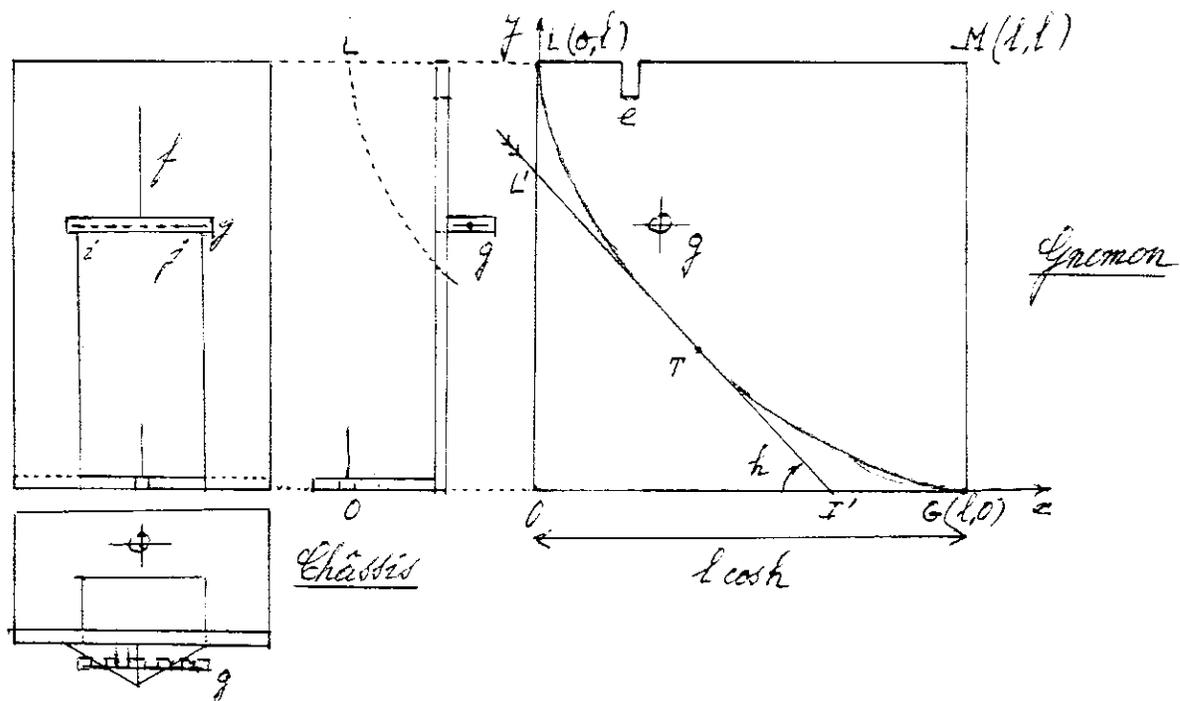


fig.8

Dans sa partie gauche, la fig 8 représente l'épure du châssis en plexiglas (ou Perspex anglais) avec ses projections usuelles, frontale et horizontale, et une vue de bout de ce cadre transparent, selon les procédés de la géométrie descriptive. A droite est donnée la projection cotée du gnomon. A titre indicatif, son épaisseur pourrait être de l'ordre de 0,5 mm : la finesse de l'ombre en dépend. Quant à son format l×l, une longueur l = 13 cm, par exemple, donnerait une taille raisonnable, ni trop grande, ni trop petite.

Les lettres e et f désignent une encoche taillée dans la partie supérieure rectiligne du gnomon et une fente pratiquée dans le plan du châssis de soutien de telle sorte que les deux pièces, convenablement ajustées, s'y emboîtent exactement dans leurs plans perpendiculaires respectifs. Une petite broche métallique filetée, ou une goupille g formant clavette, enserrerait le gnomon entre deux tasseaux latéraux et le maintiendrait rigidement fixé au châssis.

Les dimensions du cadre importent peu, car il n'a qu'un rôle de tuteur, sauf cependant à le disposer de telle façon que le bord supérieur ij de l'ouverture ménagée dans la plaque de plexiglas passe au-dessus du bord courbe, afin qu'il ne gêne en aucun cas la formation de l'ombre propre du gnomon, qui est évidemment la seule à prendre en compte.

Naturellement, les composantes du châssis, encadrement de la fenêtre ouverte, tasseaux de serrage et semelle pivotante, doivent être solidement assemblées par collage.

On rappelle que cette semelle, excavée en forme de fer à cheval, peut glisser sur la table (m) du cadran en tournant autour d'un pivot vertical dressé sur cette table mobile au point O, à l'aplomb de la pointe supérieure L du gnomon, entraîné ainsi par son châssis stabilisateur, face au Soleil, dans son plan vertical.

(à suivre)

Le Courrier du CLEA

Notre Collègue Michel Dufourg, qui anime le club d'Astronomie du lycée Poirier de Gissac à Sainte Anne (97180) en Guadeloupe nous écrit :

Vous n'êtes pas sans savoir que la Guadeloupe sera la seule portion du territoire français où l'éclipse de Soleil du 26 février 1998 sera totale.

Nous, je parle là au nom de mes collègues du club d'astronomie du lycée Ste Anne - Guadeloupe, serions intéressés par une collaboration et nous pourrions par exemple recevoir un ou plusieurs collègues, enseignant(s) ou non, quelques élèves éventuellement, si ce groupe était capable en retour de nous apporter quelque chose. Et cela ne devrait pas être trop dur car nous sommes débutants. Alors, si dans votre équipe, ou parmi les lecteurs des Cahiers Clairaut, la destination Guadeloupe, éclipse solaire est susceptible d'intéresser des candidats, envoyez-nous un petit mot, soit à l'adresse ci-dessus, soit à l'adresse personnelle :

Michel Dufourg Maison Frédéric Martial - Pliane Belle Place 97190 GOSIER

Une offre aussi sympathique ne devrait pas rester sans réponse !

Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

DISCOURS SUR LE BONHEUR par Madame du Châtelet ; préface d'Elisabeth Badinter ; 75 p. ; édition Rivages poche/Petite bibliothèque.

*Dans le Cahier de printemps, je m'étais enhardi jusqu'à écrire une lettre à la Marquise. On croira que c'était combiné d'avance, la voici qui nous répond avec la publication de son **Discours sur le bonheur**. Alors qu'il n'y avait rien de combiné du tout. Simplement, l'amie Catherine Vignon a découvert l'ouvrage chez un libraire de son quartier et s'est empressée de me l'offrir, sachant joindre ainsi au plaisir de la lecture, le charme d'un témoignage d'amitié.*

*Personne mieux qu'Elisabeth Badinter, auteur du fameux livre **Emilie Emilie**, ne pouvait présenter cette oeuvre posthume et qui n'était pas destinée à la publication. J'y vois, pour nous, le reflet d'une époque qui a la couleur d'un bon vieux temps où l'on osait parler du bonheur et de sa première condition, la vertu. Venait aussitôt après la vertu et l'accompagnant nécessairement, l'amour de l'étude. Avec cette remarque : "Il est certain que l'amour de l'étude est bien moins nécessaire au bonheur des hommes qu'à celui des femmes."*

Heureusement pour nous, femmes et hommes, Emilie du Châtelet aimait l'étude et nous a fait profiter de ses fruits. Tout comme j'ai profité de la curiosité de Catherine en librairie.

G.W.

LE SOLEIL ET SES RELATIONS AVEC LA TERRE par Kenneth R.Lang, traduction de Marie-Ange Heidmann, préface de Jean-Claude Pecker ; 276 p. : 136 illustrations dont 61 en couleur ; éd Springer 1997 (broché, 320 F).

Le même auteur, K-R.Lang, la même excellente traductrice M-A.Heidmann, nous avaient donné, avec **Vagabonds de l'espace** (CC 65, p.26), un panorama bien séduisant de l'astrophysique. Voici avec les mêmes qualités de rédaction et d'illustration un bilan sur le Soleil.

Les trois premiers chapitres recensent les données, y compris sur la fusion nucléaire à l'origine du rayonnement de l'astre. En passant, on relève (pour s'en servir à maintes occasions) un graphique très éloquent donnant luminosité, pression, densité et température selon le niveau à l'intérieur de l'astre. Tout un chapitre ensuite traite des neutrinos solaires dont Schatzman, en 1983, nous avait exposé l'intérêt ; en comparant sa conférence avec ce chapitre, on peut apprécier les progrès de cette étude en quinze années. Le chapitre "Auscultier le Soleil" concerne tout ce que nous enseignent les phénomènes liés aux ondes sonores de l'atmosphère solaire et des couches plus profondes.

L'étude des phénomènes magnétiques et des mouvements dans le Soleil amorce tout ce qui concerne l'évolution de notre étoile. En passant le schéma, p.91 sur l'évolution des boucles magnétiques est fort évocateur. De même les documents qui illustrent les chapitres sur la couronne.

Un livre de lecture aussi facile et instructive que le meilleur manuel avec le plaisir supplémentaire d'un bel ouvrage

G.W.

LES COMETES ET LES ASTEROÏDES par Anny-Chantal Levasseur-Regourd et Philippe de La Cotardière ; un inédit de la collection Point-Seuil.

L'intérêt principal de ce petit livre est d'offrir une passionnante mise à jour des connaissances sur les comètes et sur les astéroïdes, avec le charme particulier de nous plonger au coeur de la recherche.

Ajoutés aux connaissances classiques, les résultats des récentes observations que nous avons lus épars dans les journaux ou revues, et beaucoup d'autres moins spectaculaires sont ici regroupés et mis en perspective. Grâce aux performances des dispositifs d'investigation – la sonde Giotto, le télescope Hubble ne sont que les plus connus parmi bien d'autres – la moisson d'objets nouveaux découverts dans le système solaire croît de façon exponentielle. Ils foisonnent, grouillent sur de multiples trajectoires, les unes stables, d'autres changeantes et même chaotiques et ils ont des structures si diverses qu'il n'existe pas de frontière nette entre comètes et astéroïdes. Les astronomes doivent trier, classer, une masse de données et constamment adapter leurs modèles à des observations imprévues car "la nature

semble fréquemment avoir plus d'imagination que les scientifiques". Anny-Chantal Levasseur qui est chercheur au service d'aéronomie du CNRS est impliquée dans la plupart des programmes internationaux et nous dit plaisamment qu'elle prépare de prochaines expériences qui vont peut-être remettre en question ce qu'elle écrit au même moment dans ce livre. Car nous vivons avec elle l'exaltation de la science en train de se construire, d'où parfois une certaine profusion de détails mais qu'elle nous conduit à démêler pour aboutir à une compréhension claire de l'origine et du comportement de ces objets dont la diversité est a priori déconcertante.

Le livre se termine par un complément historique sur ces astres mystérieux qui longtemps suscitèrent des interprétations terrifiantes et dont les observations parfois minutieuses ont été ultérieurement si utiles.

La dernière page tournée, on est déçu qu'il n'y ait plus rien derrière... C'est dire l'intérêt que l'on peut prendre à la lecture de ce livre.

Annie Laval

LES COMETES par Philippe Rousselot ; 248 p. Edition Broquet 1997

Une bonne mise au point de toute l'histoire des comètes, "de l'antiquité à l'ère post-Halley". L'Auteur qui est un chercheur à l'Observatoire de Besançon, fait la grande place qu'il mérite à Halley et à tout ce qu'ont permis d'apprendre les retours successifs de la dite comète de Halley. Sans oublier bien sûr les autres comètes périodiques.

LA SCIENCE AU PRESENT – 1997 Annuel des sciences et des techniques édité par Encyclopaedia Universalis ; présentation par Jacques Bersani ; 320 pages, relié.

Encyclopaedia Universalis avait déjà publié en 1979 **Plurisciences** et en 1992 un premier **La science au présent**. Le livre actuel se présente sous un format un peu réduit par rapport aux volumes de Encyclopaedia Universalis (ici, 16,5/24,5 cm). Mais la typographie et l'illustration sont toujours très soignées : exemple, cette figure p.201, représentant une simulation numérique d'une partie de l'Univers fait apparaître amas d'amas de galaxies, superamas, alternance de "murailles" et de vides ; cela fait beaucoup rêver.

Quant au contenu du volume, quatre grandes rubriques. 1) Faits ou l'actualité scientifiques sous forme de brèves, une centaine de pages. 2) Étapes ou le point sur vingt sujets en évolution rapide comme "Virgo à la recherche des ondes gravitationnelles" par Bernard Pire, "Exploration du système solaire : missions et stratégies" par Véronique Ansan ou "La recherche des planètes extrasolaires" par Anne-Marie Lagrange. 3) Panoramas ou cinq dossiers sur de grandes questions, "L'âge et le devenir de l'Univers" par Marc Lachièze-Rey, "l'ozone atmosphérique" par Robert Kandel, "l'asthme" par F-B Michel et P.Godard, "L'évolution : nouvelles approches" par H.Le Guyader et J.Deutsch, "l'ère du laser" par A.Orszag et Y.Le carpentier. 4) Mémoire des sciences qui donne un choix d'anniversaires célébrés en 1995 et 1996.

Sommaire équilibré par conséquent. En s'efforçant de signaler au moins une activité dans tous les domaines, on ne réussit pas forcément aussi bien dans tous les articles. Les lecteurs des CAHIERS ne manqueront pas les quinze pages de Lachièze-Rey sur l'âge de l'Univers.

LES METEORITES sous la direction de Brigitte Zanda et Monica Rotaru ; préface de Jacques Fabriès, professeur au Muséum National d'Histoire Naturelle, Directeur du laboratoire de Minéralogie ; collection "Carnets d'histoire naturelle" 128 p. richement illustrées en couleur ; éd Bordas 1996.

L'étude des météorites a été déclanchée le 26 avril 1803 par la chute de quelques kilogrammes tombés à L'Aigle, en Normandie. Depuis, la chasse aux "pierres du ciel" a permis la réunion de collections comme celle des 974 spécimens du Muséum qui ont récemment fait l'objet d'une exposition passionnante.

Ce petit livre permet encore mieux de comprendre comment l'étude des météorites touche à l'histoire du système solaire donc en particulier l'histoire de la Terre et des êtres vivants qui ont colonisé cet astre. Au fond, les météorites sont un peu la pierre de Rosette des astrophysiciens. Pour les archéologues, le déchiffrement des inscriptions débouchait de toute évidence sur l'histoire de l'ancienne Egypte ; pour les astrophysiciens, l'analyse des météorites fournit des témoignages irremplaçables sur l'histoire autrement plus ancienne du système solaire.

L'enquête est merveilleuse par toutes les ressources mises en jeu. Les sondes interplanétaires ont

révélé l'abondance des cratères d'impact sur Mercure, Vénus, Mars et aussi sur la Terre malgré l'érosion qui en efface les traces. La recherche des objets est d'abord géographique. Puis vient l'analyse géologique. On n'imagine pas recherche plus interdisciplinaire.

Un chapitre central "*Comme aucune pierre sur terre* nous explique la minéralogie des chondrites, comment celles-ci se différencient – ce qui explique leur grande variété – ce qui permet aussi d'en faire de bons témoins de ce qu'elles ont subi. Ce chapitre est particulièrement réussi. On apprécie que, dans cet ouvrage, chaque chapitre ait bénéficié de l'attention d'un spécialiste et que l'ensemble ait su en même temps rester d'une lecture facile.

Et vraiment passionnante car toute l'affaire est un vrai roman avec en toile de fond les questions que nous n'arrêtons pas de nous poser : comment avons-nous pu naître et vivre sur cette petite boule sans vraiment comprendre ce que nous avons à faire avec l'Univers ?

LAZARE CARNOT par Jean et Nicole Dhombres ; 770 p.; édition Fayard 1997 (190 F).

Notre intérêt prioritaire pour l'astronomie ne nous dispense pas de lectures sur d'autres domaines comme l'histoire des sciences. Et celle-ci ne peut ignorer l'Histoire avec majuscule quand il s'agit d'un personnage de la taille de Lazare Carnot et d'une époque comme celle de la Révolution Française.

Les Auteurs de ce gros livre sont tous les deux historiens avec cette particularité, pour Jean, d'être aussi mathématicien et passionné par l'histoire des mathématiques et de leur enseignement. Il anime un groupe Epistémologie et histoire des mathématiques à l'IREM de Nantes et nous lui devons, entre autres publications, celle de **Mathématiques au fil des âges** (Gauthier-Villars, 1987), et **Leçons de mathématiques de l'Ecole Normale de l'An III** (Dunod, 1989). Il dirige aussi l'excellente collection de biographies Un savant, une époque (édition Belin).

Nos collègues historiens ont pu développer tout leur talent à propos de la biographie et de l'oeuvre de Lazare Carnot (1753–1822). Le livre a plus de 700 pages mais elles se lisent facilement. Sans doute est-on porté par la destinée exceptionnelle de cet officier du génie devenu membre de l'Institut dès sa création (ce qui ne l'empêcha pas d'en être radié deux fois, la première fois après le coup d'état de Fructidor, la seconde fois après la deuxième restauration) et qui fut surtout le grand organisateur des armées de l'An II. En 1781, il participe à un concours lancé par l'Académie de Dijon sur le thème d'un éloge de Vauban. Le sujet lui convient à merveille, il admire Vauban, son presque concitoyen, pas seulement pour son oeuvre en fortifications mais aussi pour sa pensée politique, celle qui lui fut fatale au temps de Louis XIV. Carnot cite Vauban, une façon habile d'avancer ses propres idées : "*Devant l'excessive inégalité des fortunes, l'objet du gouvernement doit être de faire passer les richesses des mains où elles sont superflues dans celles où elles sont nécessaires.*" (p.145)

Avant d'être un héros de la République, Lazare Carnot fut un passionné de mathématiques, formé à l'école de d'Alembert qu'il a la chance de rencontrer et qu'il admire. Les premiers chapitres des Dhombres nous donnent une vision précise des conditions de la formation scientifique à cette époque. La formule des annexes détaillées à la fin des principaux chapitres y pourvoit.

On lit tout au long le discours de Carnot devant le Tribunal contre l'élection à vie du premier consul. La déviation impériale, non, pas question pour lui de se rallier. Il ne se rapproche de Napoléon qu'en 1814 alors que le territoire national est envahi.

Les 770 pages vont a priori rebuter certains lecteurs et ce sera dommage. A suivre la destinée mouvementée de Carnot, on est pris par le grand mouvement de l'époque. Et quand on apprend à la fin qu'en la bonne compagnie de Monge, notre Lazare est exclu de l'Institut par le pouvoir aux petites têtes de la Restauration, on se dit que notre héros de la République a bien vécu et a su sortir, la tête haute, par la bonne porte.

G.W.

JOURNAL DE LECTURE

Notes diverses écrites au fil des jours d'un trimestre et des bonnes lectures, celles qui distraient comme celles qui instruisent.

***La comète Hale Bopp** est tellement belle qu'elle a troublé le rédacteur de **La Recherche** qui a écrit (n° de mars 1997, p.12) : "*Les astronomes maintiennent leurs prévisions pour avril d'une brillance maximale comprise entre 0 et -1 en magnitude ; la comète sera alors presque aussi brillante que Jupiter (magnitude 2)*".

***Le portrait de Richard Dawkins** que nous donne Ian Parker (La Recherche, avril) est bien séduisant. Il rapproche son projet de celui de Stephen Jay Gould : "*éliminer la barrière entre la pratique de la*

science et sa communication à un large public." C'est poser tout le problème de la vulgarisation des connaissances. Quand elle attache le plus grand prix aux résultats sensationnels et à l'effet d'annonce, la grande presse enlève à la science toute valeur culturelle. Au contraire, l'enseignement élémentaire des sciences, en attirant l'attention sur les méthodes de la recherche, voire même sur les visées philosophiques de celle-ci, ne peut-il pas mieux que tout autre fonder la vraie culture ?

***Dans la Couronne Boréale**, à quelques cinquante années de lumière seulement, on aurait découvert une planète de la taille de Jupiter à une demi unité astronomique de l'étoile ρ CrB. Je rêve à des communications quand elles seront établies, si elles doivent l'être, entre cette planète et notre Terre : seulement 50 années pour leur faire signe, en un siècle seulement s'établira le dialogue. Nous ne serons vraiment plus seuls...

***Le calendrier** est toujours source de questions ou remarques plaisantes. Dans **Le Monde** : "*Les élections générales (en Allemagne) doivent avoir lieu entre la fin du mois de septembre et le début du mois d'octobre 1998.*" Je ne sais comment le Chancelier Kohl échappera à ce piège calendaire mais je comprends pourquoi le Président Chirac a pris les devants en la matière.

Dans le même numéro du même journal : "*Selon les experts, le deuxième millénaire commencerait en réalité le 1^{er} janvier 2001.*" L'usage du mot "expert" semble ici justifier le conditionnel ; si, au lieu de consulter un expert, on avait consulté un simple quidam sachant compter, on aurait écrit la même phrase au présent de l'indicatif.

***Une sphère armillaire** de 40 cm de diamètre a été adjugée 1,2 millions de dollars chez Christie's à Londres. Il est vrai qu'elle provenait de l'observatoire d'Istanbul construit en 1577 (donc un siècle avant celui de Paris), au bon moment pour observer le passage d'une comète, mais détruit en 1580 pour des raisons obscures : certains accusaient les astronomes de vouloir pénétrer les secrets de la nature, d'autres de favoriser des prévisions astrologiques peu fiables. Heureusement, les fondateurs de l'Observatoire de Paris ne tombèrent dans aucun de ces travers et les richesses de son musée ne sont pas à vendre.

***Laurent Schwartz** - La lecture de son livre **Un mathématicien aux prises avec le siècle** (qui vient de paraître, éd Odile Jacob) m'a parue tellement passionnante que je me trouve bien embarrassé : pas possible de ne pas signaler le livre aux Collègues, mais pas plus possible d'en parler objectivement. Je connais Schwartz depuis 1936 alors que nous étions étudiants. Depuis j'ai admiré ses travaux, son enseignement son action. Le l'ai retrouvé aux côtés des profs de math de l'APMEP dans la grande période de rénovation des programmes scolaires et dans la véritable lutte qu'il fallut mener en faveur de la formation continue des enseignants. Dans son livre, Schwartz nous raconte aussi bien sa passion pour les mathématiques que celle pour la liberté, surtout celle des peuples opprimés. Pour moi, c'est un très grand livre, l'un de ces fameux dix livres à emporter dans l'île déserte.

G.W.

PARMI NOS LETTRES

Michel Toulmonde : "*Je viens de lire un bon bouquin, Longitude par D.Jobel (éd J-C.Lattès, 85F) sur la vie et l'oeuvre de John Harrison, inventeur du chronomètre de marine vers 1765, technologie en conflit avec la méthode astronomique des distances lunaires (défendue par l'Astronome royal nevil Maskelyne) pour déterminer le point en mer. C'est bien écrit et très agréable à lire, malgré quelques fautes de traduction(de l'américain) comme ; le "poids" de la Terre ou Colbert était "l'homme de confiance de Louis XIV" ou Maskelyne utilisait des "ordinateurs humains" (des calculateurs).. Ce livre peut faire connaître en France cet "ingénieur" méconnu que fut J.Harrison.*"

DANS LES REVUES

L'Astronomie - Janvier 1997 : L'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999 sur la France (par Michel Sarrazin)

février : la comète Hyakutaké (Michel Festou)

mars : L'expansion de l'Univers (Georges Paturel)

La Recherche - Avril : La carte du ciel infrarouge (Nicolas Epchtein)

Pour la Science - Mars : Les rayons cosmiques (J.Cronin, T.Gaisser, S.Swordy)

Avril : **Les** galaxies fantômes (Gregoru Bothew)

Mai : *Hipparcos* chasseur d'étoiles (François Migard, Christian Martin)

LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

L'Univers primitif observé par le télescope spatial Hubble

Un des grands problèmes non résolus de l'astrophysique contemporaine est le mode de formation et d'évolution des galaxies ; pour le résoudre, il faut pouvoir observer des galaxies très éloignées, qui sont donc très jeunes, et comparer leurs propriétés à celles des galaxies actuelles, que nous observons dans notre voisinage.

C'est pourquoi, en 1995, le directeur du "Space Science Institute" a décidé d'attribuer le temps d'observation sur le télescope Hubble dont il dispose es qualité, à l'observation d'un champ très profond (en anglais "Hubble deep field" soit HDF) de $2,7' \times 2,7'$, choisi au hasard mais en évitant les régions obscurcies par la poussière galactique ou contaminées par des étoiles ou des galaxies brillantes. Un total de 10 jours d'observation, effectuées dans 4 bandes spectrales centrées à respectivement 300, 450, 606 et 814 nm, a permis d'atteindre la magnitude limite de 30 dans le visible (l'équivalent d'un photon par semaine dans votre oeil). Des observations complémentaires ont été très rapidement effectuées par des télescopes au sol, et toutes les données ont été mises en commun et exploitées.

Le champ ne comportait que 10 étoiles de notre Galaxie, ce qui permet d'assurer que la masse manquante dans les galaxies (il y en aurait au moins 10 fois plus que celle que l'on voit) n'est pas sous la forme d'étoiles de très faibles masses ; par contre, on a ainsi découvert près de 300 galaxies, de dimension apparente, d'éclat, de couleurs et de morphologie très variées. Les observations spectroscopiques effectuées au sol avec le plus grand télescope actuellement disponible (le Keck, de 10 mètres d'ouverture) ont fourni, en 30 nuits d'observation le décalage spectral des 80 galaxies les plus brillantes ; celui des autres a été évalué à partir des couleurs, grâce à la propriété suivante : l'émission de lumière d'une galaxie est très réduite aux longueurs d'ondes plus courtes que 91,2 nm, qui correspond à la limite de l'absorption continue par l'hydrogène atomique froid (continu de Lyman) ; le spectre continu présente donc une discontinuité à 91,2 nm ; du fait du décalage spectral, cette discontinuité qui se produit donc à l'émission en UV s'observe dans le visible ; elle apparaît dans la bande spectrale à 300 nm, si le décalage spectral est modéré, dans la bande spectrale à 450 nm ou même dans celle à 606 nm, pour des décalages spectraux plus élevés.

Les résultats les plus marquants sont les suivants.

- Les galaxies les moins brillantes présentent des formes très irrégulières et perturbées, qui témoignent de la présence d'étoiles chaudes entourées du gaz qu'elles excitent : nous voyons ces galaxies à un moment où elles formaient un grand nombre d'étoiles.

- Les galaxies dont le décalage spectral relatif $z = \Delta\lambda/\lambda$ est égal à 3 formaient beaucoup plus d'étoiles bleues et massives, qui ont synthétisé 3 fois plus d'éléments lourds, tels l'oxygène, le magnésium ou le silicium, que les galaxies n'en forment actuellement ; par contre, à $z = 4$, ce taux de formation était comparable à ce qu'il est aujourd'hui. Ce résultat est confirmé de façon entièrement indépendante par l'étude de l'intensité des raies de ces éléments observées avec différents décalages spectraux dans les spectres d'absorption des quasars.

- Les galaxies très peu brillantes ont de plus petites dimensions angulaires : elles étaient plus compactes que notre Voie lactée. Que sont-elles devenues ? Se sont-elles agglomérées pour former les galaxies géantes actuelles ? sont-elles devenues si peu lumineuses qu'on ne les détecte pas ?

- On interprète généralement les galaxies elliptiques comme ayant formé leurs étoiles pendant une période brève de l'ordre de 10^8 ou 10^9 ans ; celles observées dans le HDF de décalage spectral $z > 2$ ont une luminosité 10 fois trop faible pour satisfaire à ce scénario. Cela est-il dû au fait que la poussière masque la luminosité des galaxies ? le scénario de formation des elliptiques doit-il être revu ? Certains pensent qu'elles se sont formées plus tard, par accrétion de plus petites galaxies.

Lucette Bottinelli et Lucienne Gouquenheim

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'inscription CPPAP 61660