

les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 71 - AUTOMNE 1995

ISSN 0758-234 X

Le CLEA – **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 1995

Présidents d'honneur

Jean-Claude PECKER

Evry SCHATZMAN

Présidente

Lucienne GOUGUENHEIM

Vice-Présidents

Agnès ACKER

Marie-France DUVAL

Hubert GIE

Jean RIPERT

Jacques VIALLE

Secrétaires-trésoriers

Catherine VIGNON

Gilbert WALUSINSKI

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

LES CAHIERS CLAIRAUT

Automne 1995

	page
Soleil et centrale nucléaire	2
La dualité onde corpuscule - Une idée rétrospective	6
Mesure simple de l'excentricité de l'orbite terrestre - Une expérience pour la classe	13
Kepler, Mercure et le Soleil	18
Mars sur orbite ... suite et fin (?)	19
Un petit laboratoire pédagogique pour l'étude du Soleil	22
Lectures pour la Marquise et pour ses Amis	28
Descartes, les éclipses de Lune et la vitesse de la lumière	30
Calamitic park	33
Les capteurs CCD et l'imagerie numérique au lycée.....	35
Chronique du CLEA - Courrier des Lecteurs	40

EDITORIAL

Nous remercions chaleureusement les nombreux auteurs qui ont contribué, une fois de plus, à l'élaboration de ce numéro. Gérard Krivine présente une comparaison des puissances produites par le Soleil et par une centrale nucléaire ; Françoise Balibar revient sur la dualité onde-corpuscule, en nous autorisant à reproduire le compte rendu d'une conférence déjà ancienne ; Roland Szostak vous propose une expérience à réaliser avec vos élèves ; nous terminons (provisoirement ?) le feuilleton informatique de Francis Berthomieu sur l'orbite de Mars ; notre collègue Macellani nous présente son laboratoire solaire : merci à Jacques Vialle d'avoir assuré une nouvelle fois la traduction ; Pierre Causeret revient sur la méthode utilisée par Descartes pour mesurer la vitesse de la lumière ; Anne-Marie Louis relate une visite d'élèves au Parc aux Etoiles ; enfin, Jacques Casenove nous résume une expérience de plus de dix ans d'utilisation des dispositifs à transfert de charge "CCD".

Si cette richesse de vos contributions est source d'optimisme, nous devons aussi vous faire part d'une certaine tristesse qui affecte en particulier notre secrétaire : le bilan des réabonnements n'est pas bon. Si vous voulez l'aider à retrouver le sourire, faites connaître les Cahiers à vos collègues et invitez-les à s'abonner !

L'Association Européenne pour l'Education en Astronomie se met en place : elle vient de publier sa première Lettre d'Informations, et prépare son Assemblée Générale qui se déroulera à Athènes, en novembre prochain. Nous aurons l'occasion de vous en reparler, ainsi que du Comité National français, en cours de constitution. Des informations plus détaillées seront données lors de l'**Assemblée Générale du CLEA de Strasbourg** (notez bien la date du **19 novembre**) et dans le prochain numéro des Cahiers.

Bonne rentrée pour tous !

La Rédaction

Soleil et centrale nucléaire

Comparaison des puissances spécifiques et flux sortants

Note de la rédaction : Gérard Krivine accompagnait l'envoi de l'article ci-dessous d'une lettre adressée à Lucette Bottinelli, dans laquelle il lui rappelait qu'il a eu le plaisir de commencer sa vie de retraité en suivant son cours d'astrophysique de Maîtrise à Orsay. L'extrait ci-dessous de sa lettre nous a procuré un grand plaisir .

"Ces cours et la lecture des Cahiers Clairaut me permettent d'effectuer de temps à autre des animations en milieu scolaire et en particulier de parler du soleil et de sa source d'énergie".

Le soleil et les centrales électronucléaires ont un point commun : leur énergie provient de réactions nucléaires. Certes, ces réactions sont bien différentes : dans le soleil 4 noyaux d'atomes d'hydrogène fusionnent pour former un noyau d'hélium, alors que dans les coeurs des réacteurs nucléaires d'EDF des neutrons provoquent la fission de noyaux d'atomes d'uranium 235. Mais dans les deux cas un peu de matière disparaît en se transformant en énergie.

Ces producteurs d'énergie diffèrent non seulement par leur taille, mais également par leur nature. Le soleil est une sphère toute simple composée d'hydrogène (près de 70%) et d'hélium dont le centre est soumis à une pression de 200 milliards de bars et une température de 15 millions de degrés. Le coeur d'un réacteur nucléaire d'EDF est un ensemble plus complexe avec des assemblages de crayons de combustible (uranium), plongés dans un circuit d'eau qui évacue la chaleur produite, le tout étant installé dans une cuve. La température au centre de ces crayons de combustible est inférieure à 2000°C.

Ceci étant, on se pose la question de savoir qui produit le plus d'énergie par unité de temps : un kg de soleil ou un kg du coeur d'un réacteur nucléaire. En élargissant un peu le problème on compare leurs puissances spécifiques volumiques (kW/m^3) et massiques (kW/kg) ainsi que leurs flux d'énergie sortants. La puissance massique est désignée aussi par taux de production d'énergie.

Données

Elles sont obtenues à partir des documents suivants:

- Cours de l'Université d'Orsay. Laboratoire d'Astronomie.
- Les réacteurs nucléaires à eau ordinaire. Collection CEA Série Synthèses (Airelle).

Certaines sont rappelées ci-dessous.

- Soleil

volume : $1,41 \cdot 10^{27} \text{m}^3$; masse : $2 \cdot 10^{30} \text{kg}$; puissance: $4 \cdot 10^{23} \text{kW}$

durée de vie : 10^{10} ans.

- Coeur d'un réacteur nucléaire EDF

Masse uranium = $1,04 \cdot 10^5 \text{kg}$. Il s'agit d'un mélange d'uranium 238 et 235, ce dernier étant le seul fissile.

Puissance thermique : 3 800 MW ou $3,8 \cdot 10^6$ kW, (compte tenu du rendement, la puissance électrique obtenue est de 1 300 MW).

Durée de vie du combustible: 2,5 ans pour un taux de combustion de 33 000 MW jours/t.

Résultats

On prend en compte la masse totale du soleil et de l'uranium du réacteur nucléaire.

<u>En valeur absolue</u>			
	Unité	Soleil	Réacteur nucléaire
Puissance volumique	kW/m ³	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^5$
Puissance massique	kW/kg	$2 \cdot 10^{-7}$	37
Flux sortant	kW/cm ²	5,6	0,057

<u>En valeur relative</u>	
Rapport	Réacteur/Soleil
Puissances volumiques	$4 \cdot 10^8$
Puissances massiques	$2 \cdot 10^8$
Flux sortants	0,01

La puissance massique ainsi que volumique du soleil est extrêmement faible par rapport à celle d'un réacteur nucléaire. Par contre le flux sortant d'énergie est plus élevé. Ces résultats sont-ils vraiment surprenants?

COMMENTAIRE

Flux sortants

Le flux sortant du soleil est 100 fois supérieur à celui qui sort des éléments combustible du réacteur nucléaire. Le soleil évacue son énergie par le rayonnement de sa surface à une température T de 5 500°C, le flux est proportionnel à T^4 (loi de Stefan).

Les crayons de combustible d'un réacteur nucléaire sont enfermés dans des gaines métalliques dont la surface externe a une température de 345°C. La chaleur produite est transférée par convection à de l'eau dont la température moyenne est de 320°C. Le flux est approximativement égal au produit de cet écart de température par le coefficient d'échange.

Les mécanismes de transfert sont différents et le résultat pas évident. Toutefois on remarque que la température de la surface du soleil est élevée alors que l'écart de température entre l'eau de refroidissement et la surface des gaines de combustible du réacteur nucléaire est faible. Le résultat sur les flux n'est donc pas trop surprenant.

Puissances volumiques et massiques

On peut être surpris de trouver un rapport des puissances volumiques du même ordre de grandeur que celui des puissances massiques, car le soleil est un gaz chaud et le combustible du réacteur nucléaire un solide. Mais les fortes pressions qui règnent dans le soleil font que sa masse volu-

mique moyenne de $1,4 \text{ g/cm}^3$ est celle d'un solide.

Puissances massiques et durée de vie

Le combustible du soleil reste en place pendant toute sa vie à l'état stable soit pendant environ 10 milliards d'années. Celui d'un réacteur nucléaire est remplacé tous les 3 ans ce qui correspond à environ 2,5 années de fonctionnement à pleine charge. Le rapport des durées de vie est donc de 4 milliards. Est-il compatible avec les puissances massiques trouvées?

La puissance massique du soleil est 200 millions de fois inférieure à celle de l'uranium du réacteur nucléaire. On pourrait en déduire que sa durée de vie est 200 millions de fois supérieure à celle du combustible du réacteur nucléaire. Ce serait vrai si tout le soleil et tout l'uranium du réacteur nucléaire étaient combustibles, si tout ce qui est combustible était utilisé et si les réactions nucléaires de fission et de fusion produisaient la même énergie par unité de masse du combustible consommé. Il faut donc commencer par calculer la puissance massique rapportée au combustible réellement consommé.

Le soleil est composé de moins de 70% d'hydrogène qui est son seul combustible pendant sa vie à l'état stable, le reste étant de l'hélium. En outre les réactions nucléaires n'ont lieu que dans un volume dont le rayon est le tiers du rayon du soleil, la pression et surtout la température étant insuffisantes à une distance supérieure. Cela revient à dire qu'une bonne partie du combustible ne sera pas utilisée. On admet que seule une masse d'hydrogène égale à 10% de la masse du soleil sera consommée. La puissance par kg de combustible consommé est donc égale à 10 fois celle par kg de soleil, soit $2 \cdot 10^{-6} \text{ kW}$.

L'uranium des centrales nucléaires est un mélange d'uranium 238 et 235, ce dernier est le seul combustible et ne représente que 3,2% du total. On néglige le fait qu'il reste de l'uranium 235 dans les déchets et que par contre du plutonium s'est formé et produit de l'énergie. La puissance massique de l'uranium 235 du réacteur est donc égale à $37/0,032=1160 \text{ kW/kg}$.

Le rapport des puissances massiques réacteur nucléaire/soleil rapportées aux combustibles participant à la combustion nucléaire devient égal à $1160/2 \cdot 10^{-6} = 5,8 \cdot 10^8$. Le rapport des durées de vie soleil/combustible du réacteur nucléaire lui serait égal si chaque gramme de combustible (hydrogène ou uranium 235) produisait la même énergie.

Or l'énergie libérée par la transformation de 4 noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium est de 26,7 MeV, celle obtenue par la fission d'un noyau d'uranium est de 202 MeV. Compte tenu du rapport des masses de ces noyaux ($235/4$), le rapport des énergies par gramme de combustible (hydrogène/uranium) est de $26,7/202 \times 235/4 = 7,8$. On en déduit que le rapport des durées de vie soleil/charge d'uranium réacteur nucléaire est de $7,8 \cdot 5,8 \cdot 10^8 = 4,5 \cdot 10^9$ ce qui est pratiquement la valeur précisée de $4 \cdot 10^9$.

Comparaison des puissances massiques

Rapportée à la totalité de la masse ou aux seuls combustibles nucléaires utilisés la puissance massique du soleil est très faible par rapport à celle du combustible d'un réacteur nucléaire alors que la combustion d'un gramme d'hydrogène délivre près de 8 fois plus d'énergie que celle d'un gramme d'uranium 235. Pourquoi? On ne peut qu'énoncer quelques remarques qualitatives.

- Soleil

Une réaction de fusion nucléaire ne peut se produire que pour des températures supérieures à 10 millions de degrés. Le taux de production d'énergie (puissance massique) augmente beaucoup avec la température, particulièrement en présence de carbone qui joue le rôle de catalyseur. C'est ce qui permettra peut-être dans l'avenir de produire industriellement de l'énergie électrique à partir de la fusion de l'hydrogène. Or le soleil avec une température de seulement 15 millions de degrés au centre et qui décroît quand on s'en éloigne a un taux de production d'énergie très bas.

- Réacteur nucléaire

On cherche à limiter son volume, donc on l'optimise pour obtenir un taux élevé de production d'énergie compatible avec la tenue du combustible et des gaines et l'évacuation de la chaleur produite. C'est ainsi que l'eau de refroidissement sert aussi de modérateur pour ralentir les neutrons provoquant la fission des noyaux d'uranium 235 de façon à augmenter leur probabilité d'atteindre leur cible.

Conclusion

Un kg d'uranium enrichi introduit dans un réacteur de centrale nucléaire produit pendant le même temps 200 millions de fois plus d'énergie qu'un kg de soleil. Cela s'explique essentiellement par le fait que cet uranium est consommé en deux ans et demi et qu'il faut le remplacer, alors que le soleil vit sur ses réserves depuis près de 5 milliards d'années et n'est qu'au milieu de son existence.

Il serait intéressant de reprendre ce calcul lorsqu'on utilisera la fusion de l'hydrogène pour produire de l'électricité. On pourrait alors comparer de façon plus exacte le soleil naturel et le soleil miniature créé par l'homme. Peut-être suffira-t-il d'attendre la fin du siècle prochain?

Gérard Krivine

LE RAYONNEMENT DU CLEA

Le saviez-vous ? Les hors série n° 1 (Ecole élémentaire), 2 (la Lune au Collège) et 4 (Astronomie en 4ème) sont disponibles en anglais ainsi que les séries de diapositives D2, D3, D5 et D7, les trois transparents... Merci à Jacques Vialle, bien sûr !

Les mêmes séries de diapositives , D2, D3, D5 et D7 sont aussi disponibles en espagnol. Merci à Josette Berthomieu ! Enfin, le hors série n°1 est diffusé en Pologne, en polonais.

La dualité onde corpuscule.

Une idée rétrospective

Françoise Balibar

*Conférence prononcée le 2 avril 1979 dans
le cadre du Séminaire de Philosophie et
Mathématiques de l'École Normale Supérieure.
Texte revu par l'Auteur le 25 juillet 1995.*

Pourquoi parler de "dualité-onde-corpuscule" alors que la controverse soulevée par cette question semble aujourd'hui éteinte ?

C'est que beaucoup d'indices laissent à penser qu'il n'en est rien et que le conflit subsiste, refoulé. A preuve, la nature contradictoire des discours auxquels donne lieu la question de la dualité "onde-corpuscule". Le discours "vulgaire" (au sens où on parle de vulgarisation) y voit la marque du caractère spécifique de la physique quantique (et, à travers elle, de toute la physique moderne) dont il est couramment admis qu'elle ne peut être que paradoxe, contraire au sens commun; pourtant, pour le commun des mortels, ondes et corpuscules n'ont rien de contradictoire et l'existence d'une dualité onde-corpuscule ne peut être immédiatement ressentie comme paradoxale; de fait, comme nous le verrons dans un instant, elle ne peut l'être que par des spécialistes.

Mais les spécialistes, eux, nient qu'il y ait un problème; à les entendre, la question est depuis longtemps réglée et ne les empêche plus de dormir... ou du moins de faire de la physique. Comme toutes les dénégations, celle-ci doit être suspectée. Cette question ne serait-elle alors qu'un simple vestige d'un état antérieur de la théorie ?

Je voudrais montrer ici qu'il en est de la dualité onde-corpuscule comme de ces vieux meubles dont on a hérité de ses parents et dont on n'ose pas se débarrasser par piété filiale; ils encombrant, à la fois la maison et l'esprit; plus même, ils empêchent de s'assumer en tant qu'adulte, de vivre par soi-même et d'aborder de front les vraies questions. . .

Pour cela, il importe de retracer ne serait-ce que succinctement l'histoire de l'idée de dualité onde-corpuscule.

Naissance d'une idée

Tout commence avec Einstein. Reprenant, en 1905, une idée avancée par Planck, Einstein émet l'hypothèse des quanta; hypothèse selon laquelle la lumière, et plus généralement toute onde électromagnétique, est constituée par un jet de photons, grains d'énergie, porteurs individuels d'un quantum d'énergie dont la valeur E est liée à la fréquence ν de l'onde par la relation :

$$E = h\nu$$

où h désigne la constante dite de Planck.

En quoi cette hypothèse, qui permet (entre autres) d'expliquer l'effet photo-électrique nou-

vement découvert, est-elle révolutionnaire ? C'est que, pour la physique classique (entendons par là, la physique d'avant 1905), tout système physique peut se comprendre et s'analyser par le jeu combiné de deux notions fondamentales et antithétiques, celle d'onde (ou champ) et celle de particule (ou corpuscule).

Pour la physique classique, les particules sont des entités discrètes, individualisées (on peut les compter, les dénombrer) et localisées (leur extension spatiale est nulle, qu'il s'agisse d'ailleurs d'un grain de poussière ou d'une planète en révolution); chaque particule occupe, à chaque instant, une position ponctuelle dans l'espace et, au cours du temps, son mouvement se fait le long d'une trajectoire; c'est un mouvement cursif. Les ondes, elles, sont concues comme possédant des propriétés radicalement opposées aux précédentes; un champ est une entité continue, définie en tout point de l'espace, dont l'extension est infinie (même si le champ ne prend de valeurs non nulles que dans une zone de dimension finie); au cours du temps, une onde se propage; son mouvement est de type frontal (on parle de "front d'onde" et de "surface d'onde").

Ondes et particules sont donc conçues comme les deux pôles d'un couple de contraires; cet antagonisme se manifeste de façon particulièrement nette quand on compare le comportement de deux particules qui se rencontrent à celui de deux champs dans la même situation. Alors que les particules qui ne peuvent occuper simultanément un même point de l'espace entrent en collision, ce qui a pour effet de modifier leurs trajectoires, les ondes, au contraire, se superposent pendant un certain temps, puis poursuivent leur progression comme si de rien n'était; ce "principe" de superposition est à l'origine des phénomènes (typiquement ondulatoires) d'interférence observés dans la zone de recouvrement ; c'est également lui qui fonde l'analyse mathématique des phénomènes de type ondulatoire (analyse et synthèse de Fourier).

Que la lumière appartienne à la catégorie "ondes" ne faisait de doute pour personne en 1905, depuis la mise en évidence, près d'un siècle auparavant, par Young et Fresnel, d'interférences lumineuses. La théorie de l'électromagnétisme de Maxwell, en précisant la nature du champ lumineux, était venue couronner l'édifice théorique de l'Optique. On comprend dans ces conditions que l'hypothèse de grains d'énergie lumineuse, de corpuscules de lumière, ait eu un caractère révolutionnaire. Non pas parce qu'elle aurait conduit à remettre en question les hypothèses ondulatoires de Fresnel et la théorie de Maxwell; mais parce qu'elle remettait en cause l'idée qu'un objet physique doit nécessairement appartenir à l'une ou à l'autre catégorie, onde ou corpuscule. Le conflit venait de ce que pour expliquer à la fois les phénomènes d'interférence et l'effet photo-électrique, on était obligé de mélanger deux catégories jusqu'alors pensées comme disjointes; c'est en cela que résidait le paradoxe qui, on le voit, ne pouvait heurter le sens commun que des physiciens. C'est ce que de Broglie, dans un de ses cours rédigés, exprime clairement:

"Pendant toute la fin du siècle dernier, les physiciens ont accumulé un nombre énorme de vérifications extrêmement précises des théories de l'optique ondulatoire. Après cette longue et minutieuse mise à l'épreuve, il paraissait inconcevable qu'on puisse être amené à remettre en question sa validité. C'est cependant l'inconcevable qui s'est réalisé après la découverte de l'effet photo-électrique".

Remarquons ici le terme "inconcevable" employé par de Broglie. C'est bien de cela qu'il s'agit: la lumière se situe "hors des concepts" de la physique classique; nous aurons l'occasion de revenir sur ce point.

Pendant près de vingt ans, de 1905 à 1923, la lumière fut donc pensée, faute de mieux,

comme un objet à part. Idée peu satisfaisante cependant, car l'esprit scientifique répugne à la multiplication des exceptions. C'est cette insatisfaction qui est à l'origine des travaux de de Broglie:

"L'idée qui dans mes travaux de 1923-1924 a servi de point de départ à la Mécanique Ondulatoire a été la suivante: puisque pour la lumière, il existe un aspect corpusculaire et un aspect ondulatoire reliés entre eux par la relation $E = hv$, il est naturel de supposer que pour la matière aussi, il existe un aspect corpusculaire et un aspect ondulatoire, ce dernier jusque là méconnu".

En 1924, de Broglie énonce sa fameuse hypothèse qui est aux particules de matière ce que l'hypothèse d'Einstein est à la lumière: toute particule de masse m animée d'un mouvement de vitesse uniforme v , et donc possédant une quantité de mouvement $p = mv$ manifeste un caractère ondulatoire, caractérisé par la longueur d'onde

$$\lambda = h/p$$

Hypothèse qui devait se trouver immédiatement confirmée par l'expérience de Davisson et Germer. En faisant se réfléchir des électrons sur la surface d'un cristal, Davisson et Germer montrèrent que la réflexion n'avait lieu que pour certaines valeurs de l'angle d'indice dépendant de la vitesse des électrons; ce phénomène est exactement semblable à ce qui se passe quand on fait se réfléchir des rayons X sur la surface d'un cristal; il n'y a pas de faisceau réfléchi, sauf pour certaines valeurs bien précises de l'angle d'incidence, liées à la longueur d'onde des rayons X par la relation dite de Bragg; appliquant la relation de de Broglie aux électrons de l'expérience de Davisson et Germer, on constate que les angles pour lesquels il y a réflexion suivent effectivement la relation de Bragg.

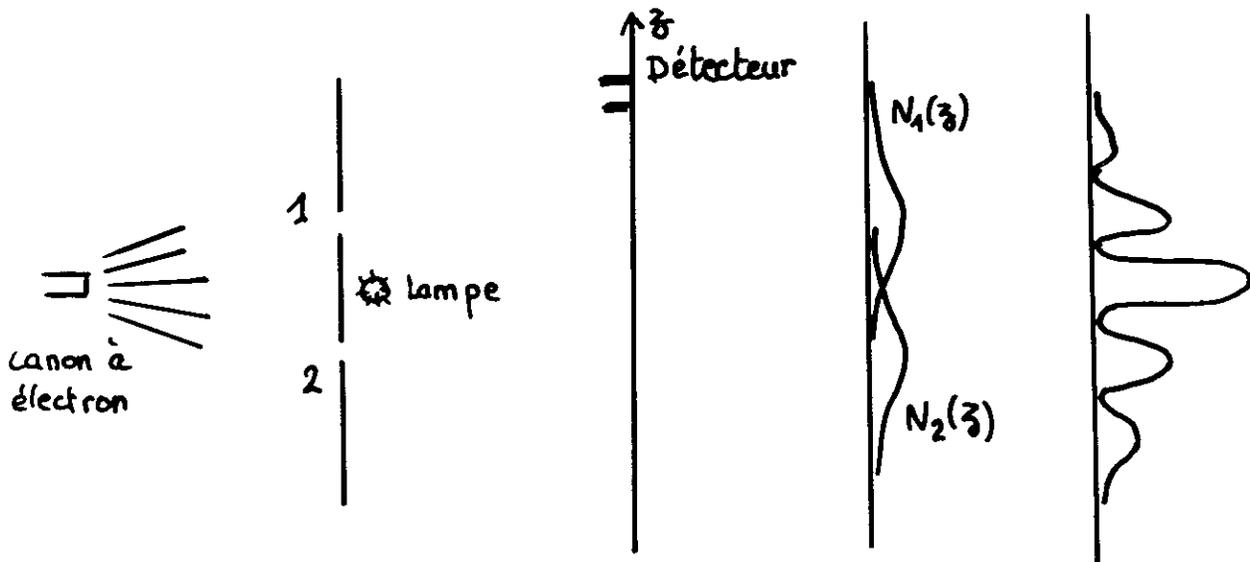
La conception dualiste

En 1924, le sentiment général est donc le suivant: on vient de découvrir (au sens de révéler) un aspect insoupçonné de la Nature, aspect que le manque de finesse de nos observations antérieures nous masquait jusqu'alors. De plus cette découverte ne peut s'expliquer dans le cadre conceptuel existant; elle est à proprement parler "inconcevable". Face à cette situation, deux attitudes, deux conceptions (on dit souvent deux interprétations) vont se développer et s'affronter, l'une de type dualiste et l'autre de type unitaire.

Pour les tenants de l'interprétation dualiste (Bohr et Heisenberg en sont les représentants les plus connus), les effets nouvellement mis en évidence (l'effet photoélectrique et l'expérience de Davisson et Germer ne sont que les premiers éléments d'une suite d'expériences qui remettent en cause la physique classique) nous ont ouvert les yeux sur la véritable nature des choses: la Nature obéit à un principe de dualité et tout objet est à la fois, et de façon "complémentaire" selon Bohr, onde et corpuscule; l'antagonisme sur lequel repose toute la physique classique n'est que l'apparence des choses: ondes et corpuscules ne sont que deux aspects (on dit encore deux images) d'une même réalité duale; ces deux images sont tout aussi vraies l'une que l'autre... et tout aussi fausses. Si on a pu pendant trois cents ans penser ondes et corpuscules comme deux classes disjointes, c'est que la Nature, suivant les conditions expérimentales, nous révèle l'une ou l'autre de ses deux faces, mais jamais les deux à la fois. On le voit, l'interprétation dualiste, dont la logique repose entièrement sur le jeu combiné du "et" (réalité) et du "ou" (apparence) liant le couple onde corpuscule, ne se conçoit pas en fait, sans un principe, dit principe de complémentarité, excluant la possibilité qu'un même objet nous apparaisse, dans une situation

expérimentale donnée, comme à la fois onde et corpuscule. C'est effectivement ce qui se passe: on ne peut faire apparaître le caractère corpusculaire d'un phénomène ondulatoire (et vice-versa) qu'en modifiant les conditions expérimentales; c'est là la manière dont Bohr interprète les relations de Heisenberg.

Ce point vaut d'être précisé sur un exemple. Considérons une expérience où se manifeste le caractère ondulatoire des électrons, par exemple grâce au dispositif bien connu des trous de Young. La courbe $N(z)$ de répartition des électrons sur l'écran présente une alternance de maxima et de minima (ou franges) caractéristiques des phénomènes d'interférence. Essayons maintenant de mettre en évidence le caractère corpusculaire de ces électrons et pour cela cherchons à déterminer par quel trou est passé chaque électron qui vient heurter l'écran en z . A cet effet, plaçons en arrière des deux trous, une petite lampe témoin qui enverra un éclair vers le haut chaque fois qu'un électron passera par le trou du haut et un éclair vers le bas chaque fois qu'un électron passera par le trou du bas. Comme, avant d'arriver sur l'écran, un électron doit nécessairement être passé par l'un ou l'autre trou, on s'attend à ce qu'en ajoutant pour chaque valeur de z , le nombre $N_1(z)$ de flashes vers le haut au nombre $N_2(z)$ des flashes vers le bas, la courbe $N_1(z) + N_2(z)$ des impacts sur l'écran soit identique à la courbe $N(z)$ observée en l'absence de lampe. On constate qu'il n'en est rien; la courbe $N_1(z) + N_2(z)$ est régulière et ne présente pas de franges; elle ressemble tout à fait à la courbe qu'on obtiendrait si au lieu d'électrons on avait utilisé des petits projectiles. Autrement dit; nous avons réussi, grâce à la lampe, à mettre en évidence le caractère corpusculaire des électrons, mais en même temps nous avons fait disparaître les franges, manifestation ondulatoire du phénomène.



Or, il est clair qu'en introduisant la lampe nous avons modifié les conditions expérimentales; l'interaction du rayonnement lumineux avec les électrons (qui provoque les flashes observés) modifie le comportement des électrons; au point que ces électrons qui nous montraient leur aspect ondulatoire dans l'expérience "nue" des trous de Young, nous font maintenant voir leur caractère corpusculaire. On peut alors songer (toujours dans l'intention de mettre en évidence simultanément les deux caractères) à diminuer les modifications apportées par la lampe, en abaissant la fréquence de la radiation émise (on sait que l'énergie lumineuse est proportionnelle à la fréquence). On constate alors que tant que la fréquence reste suffisamment élevée, la courbe des impacts ne présente pas de franges et que celles-ci réapparaissent en dessous d'une certaine fréquence; mais on constate également qu'au moment où les franges réapparaissent, les éclairs émis au passage d'un électron deviennent si peu directifs qu'on ne peut plus dire s'ils sont dirigés vers le haut ou vers le bas, nous ôtant ainsi la possibilité de dire par quel trou l'électron est passé. En effet - et c'est là un phénomène bien connu en Optique - deux points ne sont vus comme distincts que si on les éclaire avec une lumière de longueur d'onde suffisamment petite par rapport à leur séparation, donc avec une lumière de fréquence suffisamment élevée. Une fois de plus, la possibilité de mettre en évidence en même temps l'aspect ondulatoire et corpusculaire des électrons nous échappe.

La conception unitaire

Que l'interprétation dualiste soit fortement teintée d'idéalisme ne fait guère de doute; le vocabulaire employé (dualité, complémentarité), le recours à des "principes" l'indiquent nettement. En ce sens, cette conception manifeste un retour, une régression à un état prégaliléen de la physique; poser que les choses sont comme elles sont en vertu d'un principe, c'est là une démarche aristotélicienne, contraire à l'esprit de la physique classique. Il est d'ailleurs intéressant de constater que les principes de dualité, et surtout de complémentarité, ont donné lieu à une exploitation idéologique tous azimuts. Voir à ce propos les considérations de J-P.Sartre, sur la "complémentarité homme/femme", pensée sur le modèle de la complémentarité onde/corpuscule; la question de savoir qui est onde et qui est corpuscule dans ce couple est laissée en suspens..

Rien d'étonnant dans ces conditions à ce que bon nombre de physiciens n'aient pu se contenter de l'interprétation dualiste et s'y soient violemment opposés. Pour eux une telle conception ne peut avoir que des effets anesthésiants. D'une part, le principe de dualité permet d'éviter de poser la question de la nature des choses (ondes ou corpuscules) et d'autre part, le principe de complémentarité, malgré sa référence aux conditions expérimentales, ne fait que masquer notre ignorance temporaire en l'érigeant en principe.

C'est donc au nom du réalisme que s'effectue la critique du point de vue dualiste. Ce qu'Einstein, adversaire résolu du dualisme, exprimait de façon aussi "réaliste" et matérialiste que possible en disant " *Quand je mange, j'aime bien savoir ce qu'il y a dans mon assiette: des pois ou de la soupe aux pois*".

Pour ces réalistes, le dilemme posé par la double apparence de la lumière et des électrons, tantôt ondes et tantôt corpuscules, ne peut être résolu que dans le cadre d'une théorie unitaire: tous les objets doivent être de même nature. Sont-ils, en dernière analyse, ondes ou corpuscules ? A laquelle il faut ajouter une question subsidiaire: une fois déterminée la véritable nature des objets physiques, expliquer pourquoi ils nous apparaissent parfois sous l'autre aspect.

Posée sous cette forme, la question n'appelle que deux réponses: la Nature est faite d'ondes; la Nature est faite de corpuscules.

A la première conception, on peut rattacher les travaux de de Broglie et de Schrödinger. ce que nous avons l'habitude d'appeler corpuscules est pensé "comme le centre d'un phénomène ondulatoire "tendu auquel il est incorporé" (de Broglie). Plus précisément, une particule est conçue comme un "paquet d'ondes" d'extension limitée et sa trajectoire est celle du centre de ce paquet d'ondes.

C'est pourtant l'interprétation corpusculaire qui devait être reprise par la majorité des manuels, fidèles à l'enseignement de l'Ecole de Copenhague. "Le monde est d'essence corpusculaire et les phénomènes ondulatoires ne sont que l'apparence de particules réelles" (Landé); tout phénomène ondulatoire doit être interprété de façon statistique comme les variations locales et temporelles de la probabilité de présence d'une particule.

Sortir de l'alternative

Comme le fait remarquer Landé, point de vue dualiste et point de vue unitaire sont absolument inconciliables: "Si on prend au sérieux l'interprétation statistique de Born, il n'y a pas de place pour la dualité onde/corpuscule". Le point de vue unitaire (qu'il soit corpusculaire ou ondulatoire) paraît à première vue plus satisfaisant que le point de vue dualiste, dans la mesure où il cherche à expliquer ce qui fait problème et ne se contente pas de régler la question par la grâce d'un principe transcendantal. A y regarder de plus près, cependant, on est bien obligé de constater qu'il s'agit d'un point de vue rétrospectif, entièrement tourné vers le passé; il repose en effet sur l'hypothèse implicite que les vieux concepts d'onde et de particule, développés par trois cents ans de physique classique, peuvent, a priori, suffire à rendre compte des nouveaux phénomènes observés. A cet égard, il est significatif que les tenants de la conception unitaire se soient crus obligés de s'en référer continuellement aux grands ancêtres, et en particulier à Newton, lequel est invoqué à la fois par les tenants d'une interprétation ondulatoire (tel de Broglie qui voit dans les conceptions de Newton sur la lumière un "pressentiment" de la Mécanique Ondulatoire) et par ceux qui défendent (tel Born) une conception corpusculaire.

Ce qui frappe également, c'est à quel point ces réalistes sont en fait idéalistes. Car, après tout, ondes et corpuscules ne sont que des concepts, élaborés à partir d'objets de notre expérience sensible, par un processus d'abstraction et d'élagage. Se poser la question de savoir si tel objet est une onde ou un corpuscule, c'est confondre les choses et leur concept. La véritable question est précisément (et c'est ainsi que Bohr pose le problème) celle de l'adéquation de ces concepts élaborés à l'âge classique, à la description théorique de phénomènes nouveaux. Ne faut-il pas prendre le terme d'"inconcevable" employé par de Broglie au pied de la lettre ? Ne faut-il pas sortir du cadre conceptuel de la physique classique et forger de nouveaux concepts spécifiques du domaine quantique, à partir précisément de l'expérience nouvellement acquise ? Comme le dit le physicien américain L.N.Cooper: "Le domaine quantique nous réserve des surprises qui ne peuvent paraître paradoxales qu'à un esprit classique".

Ce qui est en cause, en fait, c'est l'interprétation des relations

$$E = hv \text{ et } p = h/\lambda$$

Ces relations énoncées de façon relativement empiriques à partir des phénomènes nouveaux, sont d'un point de vue strictement classique, absolument monstrueuses, puisqu'elles relient un concept corpusculaire (E ou p) à un concept ondulatoire (v ou λ), alors qu'ondes et corpuscules

sont censés former deux classes d'objets disjointes. Mais on remarque que le lien ainsi établi, l'est par l'intermédiaires de la constante quantique h . C'est là l'indice que dans le domaine quantique les propriétés corpusculaires et ondulatoires fusionnent pour ne former qu'une seule propriété quantique. De la même façon, il faut penser que, toujours dans le domaine quantique, ondes et corpuscules eux aussi doivent être remplacés par un seul et même concept, ni onde, ni corpuscule, un concept spécifiquement quantique et que pour cette raison nous convenons de baptiser "quanton" (mais le nom importe peu).

Si donc on accepte d'abandonner les parages rassurants de la théorie classique, les paradoxes développés à propos de l'effet photo-électrique ou de l'expérience de Davisson et Germer tombent d'eux-mêmes. Les controverses entre dualistes et unitaires, entre partisans d'un monde corpusculaire et partisans d'une conception ondulatoire, apparaissent alors comme de faux débats. Car, comme le dit Dirac: " *Il ne faut pas s'attendre à ce que les phénomènes du domaine atomique relèvent de telle ou telle conception, du moins au sens où l'on entend généralement ce mot; c'est à dire qu'il n'existe pas de modèle classique de ces phénomènes; si, par contre, étendant le sens du mot "conception", on entend pas là une manière d'envisager les lois fondamentales qui rende leur cohérence manifeste, alors, il est possible de forger une conception des phénomènes atomiques et d'acquérir une certaine familiarité avec la théorie quantique*". De fait, c'est bien de cela qu'il s'agit: faire que la théorie quantique nous devienne familière, arriver à l'envisager sans a priori classique, l'accepter telle qu'elle est, même si elle heurte nos préjugés classiques, acquérir un sens physique quantique. " *Pour la génération actuelle de physiciens, c'est la physique quantique qui représente le sens commun, qui lui est familière. Ce sont sa structure et ses relations spécifiques qui pour ces physiciens ont un sens immédiat et une validité intuitive. C'est dans ce domaine que s'exerce leur sens physique, ce sixième sens qui leur permet de distinguer le vrai du faux*" (L.N.Cooper).

On s'aperçoit alors que la véritable question n'est pas celle du passage de la physique classique à la physique quantique, mais bien celle du passage inverse, de la physique quantique à la physique classique. La physique classique est une approximation de la physique quantique; la première question qui se pose est donc: dans quelles conditions peut-on se contenter de la physique classique et quand ne peut-on éviter d'avoir recours à la physique quantique ? C'est précisément à ce genre d'interrogation que répondent certains des travaux de Feynman: partant de la théorie quantique, Feynman a montré comment la Mécanique classique pouvait être déduite du formalisme de cette théorie comme cas limite, celui à l'action caractéristique devient nettement supérieure au quantum d'action de Planck. La démarche de Feynman est ici inverse de celle qui consiste à obtenir des résultats quantiques comme extrapolation de la théorie classique.

Terminons en énonçant une autre de ces "véritables" questions qui, elle, est encore sans réponse. Comment caractériser les quantons qui à l'approximation classique ont un comportement ondulatoire et ceux qui ont un comportement corpusculaire ? Cette dichotomie recoupe-t-elle la dichotomie bosons/fermions qui repose sur des considérations statistiques ? Ou bien ces deux partitions n'ont-elles rien à voir entre elles ?

Aussi étonnant que cela puisse paraître, on en est encore réduit sur ce point à des spéculations

MESURE SIMPLE DE L'EXCENTRICITE DE L'ORBITE TERRESTRE UNE EXPERIENCE POUR LA CLASSE

La plupart des manuels de physique représentent l'orbite terrestre par des dessins montrant une ellipse de grande excentricité. Cela suggère une importante variation de la distance entre le Soleil et la Terre au cours de l'année. En réalité, la valeur de l'excentricité, $e = c/a$, est très faible : $e = 0,01675$. [On rappelle que a est le demi grand axe de l'ellipse, b , le demi petit axe, c est la distance focale]. Cette valeur est si faible que cette ellipse ne peut se distinguer d'un cercle : en effet, $b/a = 1,00014$). Peut-on imaginer une procédure qui permette de mesurer e par une expérience de classe ?

Une première idée serait de prendre une succession de photos du Soleil tout au long de l'année, au cours de laquelle le diamètre angulaire du disque solaire varie d'environ 3%. Un appareil photo classique de focale 50 mm donne une image du Soleil dont le diamètre sur le film est de 0,4 mm. Espérer déterminer l'excentricité avec une précision de 10% à partir de telles images implique des mesures de différence de dimension à mieux que le micromètre. Cette procédure ne peut donc pas marcher. Il faudrait utiliser un appareil photo de beaucoup plus grande focale, ou un télescope, et être sûr que le grossissement reste bien le même tout au long de l'année. On pourrait envisager aussi de s'affranchir de ces difficultés en mesurant le diamètre du disque solaire grâce au mouvement diurne de la Terre. Il suffirait alors de mesurer sur un écran le déplacement de l'image du Soleil donnée par un télescope fixe. Le diamètre angulaire du Soleil se déduit du temps que l'image met à décrire une marque dessinée sur l'écran, soit environ 2 minutes. La détermination de la variation angulaire à mieux que 10% implique que l'on mesure la durée du passage avec une précision de 0,2 seconde. Cela n'est pas facile. En outre le bord du disque n'est pas facile à déterminer, à cause de son assombrissement. La mesure de l'excentricité de l'orbite terrestre ne semble donc pas si simple.

Il y a cependant une autre façon de la faire ; et nous allons voir que cette méthode fournit un résultat avec une précision de quelques pour cent sans demander d'équipement technique compliqué. Elle repose sur un phénomène qui était déjà bien connu des anciens grecs : les saisons, dont le début et la fin sont donnés par les équinoxes et les solstices, n'ont pas la même durée. Il suffit de consulter un calendrier pour voir que cette différence de durée atteint 5 jours. Dans les temps anciens, on pensait que c'était le Soleil qui se déplaçait autour de la Terre, elle-même au repos. On interprétait donc ces déviations comme étant dues à l'excentricité de l'orbite du Soleil. Nous plaçant dans la vision copernicienne héliocentrique, nous comprenons que cet effet provient de l'excentricité des orbites elliptiques des planètes, découverte par Kepler. Regardez la figure 1 : elle montre la déviation périodique de la position du Soleil, telle qu'on l'observe depuis la Terre, en comparaison avec un mouvement circulaire. On a représenté sur le dessin 4 positions de la Terre, séparées successivement d'un quart d'année. A la position P_e du périhélie et à la position A_p de l'aphélie, il n'y a pas de déviation. Par contre, si l'observateur terrestre est en B ou en C , il voit le Soleil dans une direction qui diffère de l'angle $\Delta\Phi_E$ du cas d'une orbite circulaire. Du fait du mouvement diurne, il en résulte une différence de temps. Quand la Terre est en A_p ou en P_e , le Soleil passe au méridien à midi. Par contre, quand la Terre est en B , le Soleil n'est pas encore au méridien à midi ; on peut dire que le Soleil est en retard.

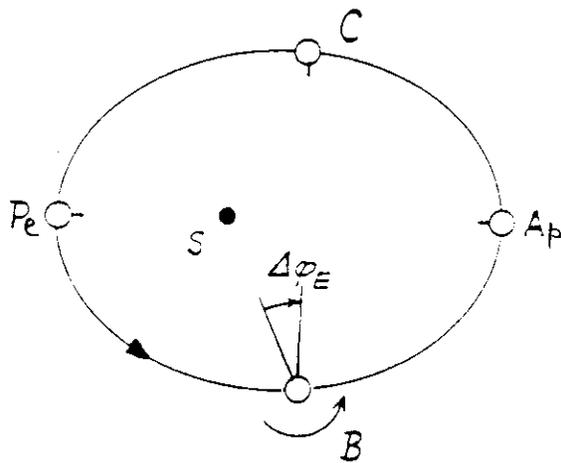


figure 1

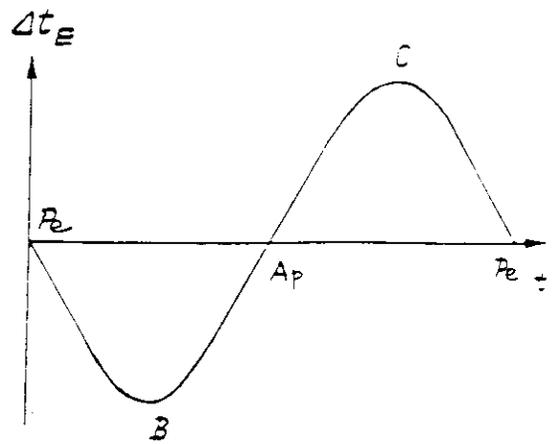


figure 2

En C, le Soleil passe au méridien avant midi. La figure 2 montre la variation de ce retard ou de cette avance au long de l'année. Nous avons maintenant de très bonnes horloges, qui mesurent le déroulement continu du temps avec précision. Nous pouvons donc mesurer aisément ces différences de "temps solaire" en utilisant une échelle de temps indépendante.

On peut montrer facilement cette variation du temps solaire dans la salle de classe en observant un pinceau de lumière solaire à travers un petit trou dans un carton, fixé sur une fenêtre orientée au sud. Il suffit de noter l'heure à laquelle le centre de l'image du Soleil traverse une ligne sur le sol (figure 3).

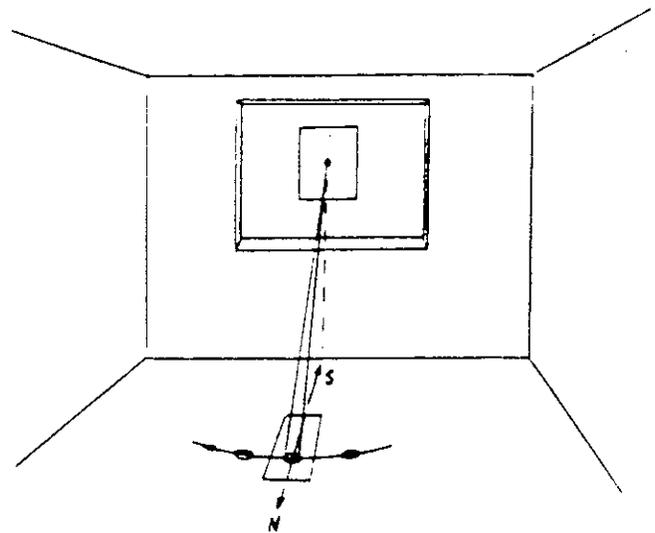


figure 3

On trouve maintenant facilement des horloges bon marché qui donnent l'heure à la précision de la seconde. En effectuant les observations avec soin, on obtient la mesure de l'heure méridienne avec une précision de 3 s. Pas besoin de lentille : seulement un petit morceau de carton. En classe, il suffira de répéter un petit nombre de fois cette mesure simple, au rythme d'une mesure par semaine. On obtient ainsi une déviation de quelques minutes qui suffit à démontrer l'effet. Il n'est pas conseillé de conduire les observations en classe sur une échelle de temps plus longue. Une fois qu'ils ont été convaincus de l'existence de ce décalage temporel par cette courte observation qu'ils ont effectuée eux-mêmes, les élèves pourront aller rechercher les données dans d'autres sources. Il existe une base de données très bon marché et disponible pour tous : un simple calendrier, qui donne l'heure de lever et l'heure de coucher du Soleil, au moins une fois par semaine. Il suffit de prendre la moyenne des deux pour déterminer le midi. On trouve ainsi la déviation indiquée sur la figure 4, qui est "l'équation du temps". On remarque tout de suite que cette courbe n'a pas la même allure que celle de la figure 2. Avec un peu d'imagination, on peut retrouver la courbe attendue dans les deux extrema les plus prononcés, à gauche et à droite. Il est clair qu'un effet supplémentaire, de période double, tel celui indiqué dans la figure 5, s'est superposé au précédent.

figure 4

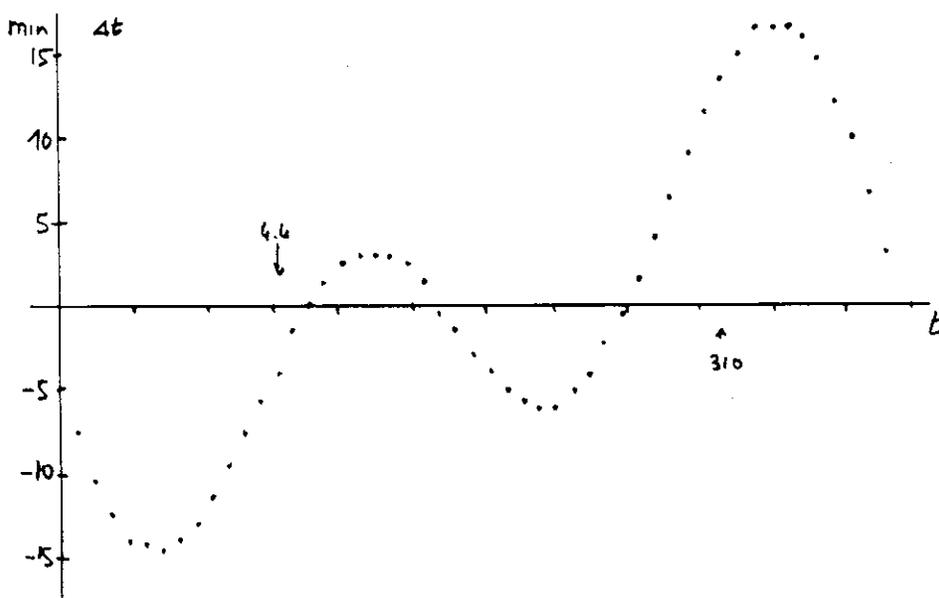
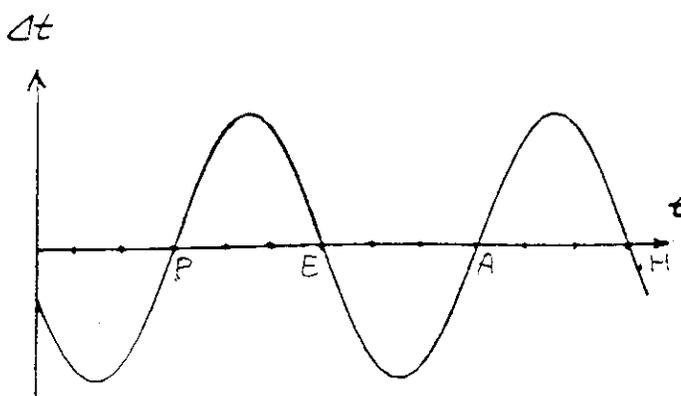


figure 5



Pour trouver l'origine de ce second effet, considérons un cadran solaire classique. Si l'on implante un style vertical sur un sol horizontal, les lignes horaires indiquant des heures rondes ne sont pas équidistantes. Pour qu'elles le soient, il faut orienter le style parallèlement à l'axe de rotation de la Terre et le plan de lecture des heures parallèlement au plan de l'équateur terrestre. On voit alors que la non équidistance est un artefact dû à la projection oblique, quand le cadran solaire est incliné par rapport à l'axe de rotation.

L'inclinaison du plan du plan équatorial de la Terre sur le plan orbital provoque un artefact similaire, en ce qui concerne la période annuelle. Pour l'observateur terrestre, le Soleil ne se déplace pas au long de l'année dans le plan de l'équateur, mais dans celui de l'écliptique, qui est incliné de $23,5^\circ$ (figure 6). Si le Soleil était animé d'un mouvement uniforme dans le plan équatorial, un observateur situé sur la Terre en rotation diurne, verrait le Soleil passer à son méridien tout au long de l'année à des intervalles de temps égaux. Mais le Soleil, dont on suppose le mouvement uniforme le long de l'écliptique, passe au méridien de l'observateur un peu plus tôt, comme on peut le voir sur la figure 6, quand il est entre P et E. Au contraire, entre E et A, il passe au méridien en retard.

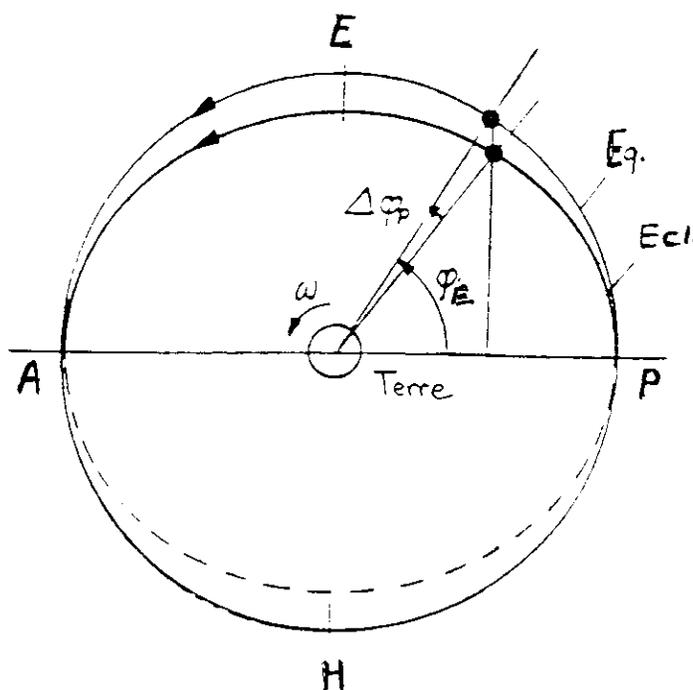


figure 6

L'erreur projetée, $\Delta\Phi_P$ s'annule 4 fois dans l'année : aux deux équinoxes, P et A, de printemps et d'automne, et aux deux solstices E et H, d'été et d'hiver. Ce sont les débuts de chacune des saisons. Cette fonction $\Delta\Phi_P$ a donc bien la double périodicité que nous recherchions. Des considérations géométriques sur la figure 6 conduisent à :

$$\Delta\Phi_E = \Phi_{AE} - \arctan(\cos 23,5^\circ \tan \Phi_{AE})$$

On peut calculer cette fonction et la convertir en différence temporelle Δt , en utilisant la vitesse angulaire de la rotation terrestre, 1° correspondant à peu près à 4 minutes. Puisqu'on connaît les dates des équinoxes et des solstices qui correspondent à des zéros, on peut alors

retrancher cette fonction des données empiriques de la figure 4. On obtient alors la courbe empirique de la figure 7, qui a le comportement attendu. Les zéros de cette dernière courbe donnent les dates de passage au périhélie et à l'aphélie. On peut apprécier d'avoir ainsi obtenu ces dates, avec des erreurs de moins de 2 jours, par des moyens aussi simples, en se rappelant que la forme de l'orbite terrestre ne diffère pas significativement de celle d'un cercle.

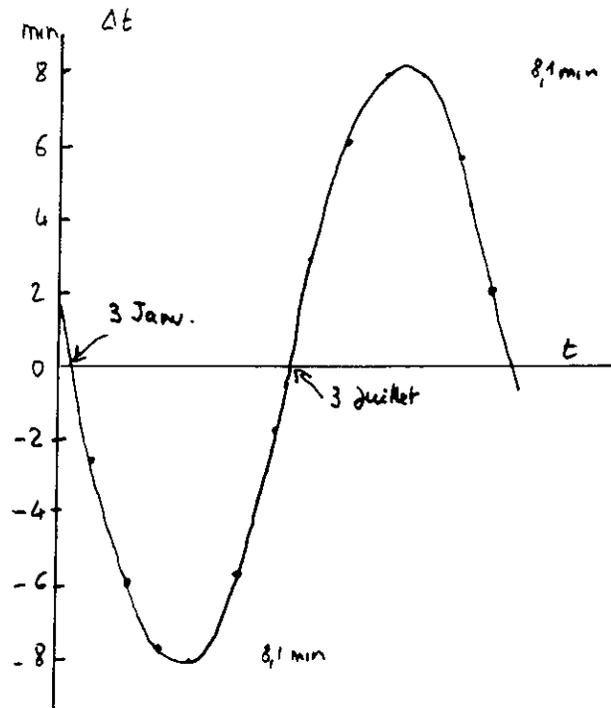


figure 7

Nous pouvons maintenant calculer la valeur numérique de l'excentricité. Considérons le point C de la figure 8 atteint exactement au milieu de l'intervalle de temps entre les passages en Ap et Pe. Du fait de la seconde loi de Kepler, les secteurs elliptiques SApC et SCPe ont la même aire. On peut remplacer le calcul de ces aires par la méthode approchée qui consiste à échanger les deux aires hachurées de la figure 8, ce qui permet d'obtenir deux aires égales qui sont des quarts d'ellipse. Les deux surfaces hachurées sont pratiquement des triangles égaux, si l'on assimile la petite partie courbe à un segment de droite, ce qui est justifié par la faible excentricité. On a alors dans le triangle qui contient l'angle $\Delta\Phi_E$ la relation :

$$\tan \Delta\Phi_E = 2c/p \approx 2e$$

On peut alors transformer $\Delta\Phi_E$ en Δt_E par la relation qui fait correspondre 1° à 4 min. En examinant les figures 7 et 8, on voit que la date du passage au point C est très proche de celle du maximum de la courbe. Il est donc justifié de prendre l'amplitude de la courbe de la figure 7 pour $\Delta\Phi_E$, ce qui donne $e = 0,01768$. La comparaison avec la valeur exacte $e = 0,01675$, montre une précision de 5%. Si l'on se souvient que nous avons simplement utilisé les heures de lever et de coucher du Soleil du calendrier des Postes, ce résultat est tout à fait satisfaisant.

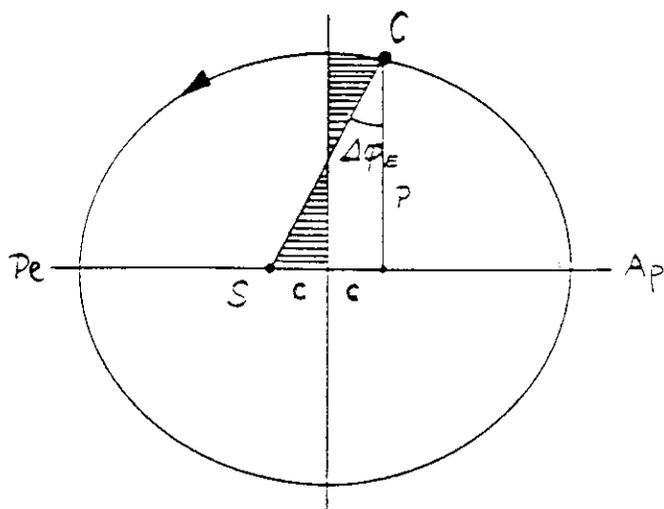


figure 8

Il y a encore une correction, assez évidente, à faire. Les heures de lever du Soleil sont données dans le calendrier pour un lieu précis (en France, Paris), qui n'est en général pas situé sur le méridien central du fuseau qui définit l'heure légale. Il en résulte un décalage de la ligne zéro de la figure 7, vers le haut ou vers le bas. Cet effet a été corrigé sur la figure 7. Mais ce décalage n'est pas important pour le calcul de l'excentricité : on peut l'oublier, puisqu'on se sert seulement de l'amplitude, qui se lit simplement sur la figure 7 entre le maximum et le minimum.

Roland Szostak

KEPLER - MERCURE ET LE SOLEIL

Mercure passe rarement devant le Soleil, guère plus de treize fois par siècle, et le plus souvent en mai et novembre quand les orbites de la Terre et de Mercure sont correctement alignées. En mai 1607, Kepler pensa avoir observé un tel passage et, impatient d'en informer son protecteur, l'empereur Rodolphe II de Habsbourg, parcourut au pas de course le trajet le séparant du château. Ce n'est que bien plus tard qu'il réalisa qu'il avait vu en réalité une tache solaire - phénomène inconnu jusqu'à ce que Fabricius, Scheiner et Galilée en soient les témoins plusieurs années après. "Avais-je pris la tache que je vis pour Mercure? se demandait Kepler en 1617. Une chance pour moi, j'étais le premier du siècle à avoir observé les taches solaires". Kepler avait prédit un réel passage de Mercure en 1631, mais il mourut l'année précédente et n'assista pas à l'événement.

Mars sur orbite... suite et fin (?)

Résumé des chapitres précédents.

Deux ans de pratique de l'astronomie dans le cadre idéal de l'Option Sciences Expérimentales en 1^o S ont conforté une double conviction :

1 - ce thème est un remarquable moyen de motivation.

2 - les difficultés mathématiques, bien réelles, peuvent être contournées, grâce à l'informatique, sans nuire à la rigueur scientifique.

Reconnaissant que certains aspects des actes 1 et 2 de ce petit « feuilleton » étaient encore d'un maniement délicat, j'ai apporté pour la dernière année scolaire quelques modifications dans ma présentation de l'étude du mouvement de la planète Mars. Dans un esprit rigoureusement conforme aux nouveaux programmes de Terminale S, j'ai souhaité ajouter la contrainte d'une démarche à la fois historique et scientifique. [1]

Observer pour décrire...

« Donner à voir n'est pas faire observer » s'écriait récemment un philosophe lors d'un colloque sur l'utilisation des images numériques dans l'enseignement des sciences ! Donnons à VOIR, sans commentaires, les constellations de la voûte céleste (la projection des diapositives CLEA est un passage obligé) puis faisons les OBSERVER plus finement à de petits groupes d'élèves réunis autour de l'écran d'un ordinateur: Chacun alors apprendra, à son rythme, à repérer et reconnaître les étoiles qui constituent la constellation du Taureau, puis à distinguer la planète Mars parmi les étoiles « fixes ». Il sera alors possible à chacun, en prenant le temps qui lui est nécessaire, de se convaincre qu'il s'agit bien d'un « astre errant », et de DECRIRE, comme savaient le faire les Chaldéens, plus d'un millénaire avant notre ère, l'allure de son mouvement sur le fond des étoiles qui forment les constellations. [2]

Décrire pour mesurer...

Cette appropriation des faits débouchera sur une description verbale, puis sur une première formalisation. La « sphère des fixes » peut être présentée, d'une façon très simple, par analogie avec la sphère terrestre, à un détail près : nous l'observons « de l'intérieur » ! La méthode de repérage des étoiles s'impose alors, par analogie avec le repérage géographique. Il sera indispensable de définir équateur céleste et écliptique : ce sont deux grands cercles particuliers de la sphère des fixes, axés, l'un sur l'axe de la Terre (celui du mouvement diurne du ciel), l'autre sur l'axe de l'orbite terrestre (celui de la trajectoire annuelle du Soleil). Les grands cercles qui les coupent perpendiculairement constituent deux familles. Ceux définis par rapport à l'équateur se recoupent tous aux pôles Nord et Sud du ciel; ceux définis par rapport à l'écliptique se recoupent tous aux pôles écliptiques... Il est aisé de remarquer qu'ils constituent dans les deux cas des lignes analogues aux méridiens terrestres. On comprend alors que l'on peut repérer un point de la voûte céleste comme on repère un point de la surface terrestre, par deux angles (analogues à la longitude et à la latitude terrestres d'un lieu). On peut alors se livrer à de véritables mesures que la fée informatique rend possibles... en un petit quart d'heure !

De la même façon que l'on pouvait repérer Mars en projetant les diapositives sur la carte du ciel, on pourra ici, en repérant d'abord d'un « clic » de la « souris » les étoiles repère Aldébaran et Atlas (des Pléiades), puis la planète Mars, assister au report automatique de cette dernière sur une carte du ciel convenablement graduée. Notons que la carte affichée à l'écran comporte les graduations du ciel en coordonnées équatoriales OU écliptiques mais que le choix des unes ou des autres incombe à l'élève... Ses relevés de positions le convaincront sans peine de la pertinence du choix des coordonnées écliptiques pour le problème étudié ! Faut-il souligner que nous avons ainsi « shunté » le délicat problème de la conversion de coordonnées, faisant appel à la trop délicate trigonométrie sphérique ? La précision atteinte est satisfaisante : un peu de soin permet d'atteindre le dixième de degré. Soyons bien assurés que l'on ne fit pas mieux jusqu'à Tycho BRAHE, qui fut sans doute le premier à concevoir des

instruments capables d'apprécier la minute d'arc ! Il ne reste plus qu'à MESURER sur l'écran de l'ordinateur, avec tout le soin nécessaire, les coordonnées (longitude et latitude écliptiques géocentriques) des positions successives de la planète Mars aux dates des différentes photos. [3]

Il est alors facile de transcrire les résultats (date, longitude, latitude) dans un tableur. REGRESSI me paraît parfaitement adapté à cet usage. On traduit par des graphes le mouvement de la planète. Leur analyse raisonnée permettra de conclure qu'il faut plutôt se consacrer aux variations de la longitude écliptique de Mars qu'à celles de sa latitude. Celle-ci est en effet suffisamment proche de zéro (elle atteint difficilement 2°) pour que l'on puisse dire, en première approximation, que Mars se déplace pratiquement dans le plan de l'écliptique, ou, plus rigoureusement, que l'on se limite à étudier le mouvement de sa projection sur le plan de l'écliptique... (Notons qu'une étude de l'inclinaison de l'orbite de Mars sur le plan de l'écliptique peut aussi être menée sans difficultés majeures à partir des résultats).

Mesurer pour modéliser...

Nous pouvons assister maintenant à la rencontre historique de deux grands esprits, PTOLEMEE et COPERNIC, concepteurs de modèles, qui, en dépit de tout ce que l'on peut entendre parfois, sont cinématiquement équivalents.

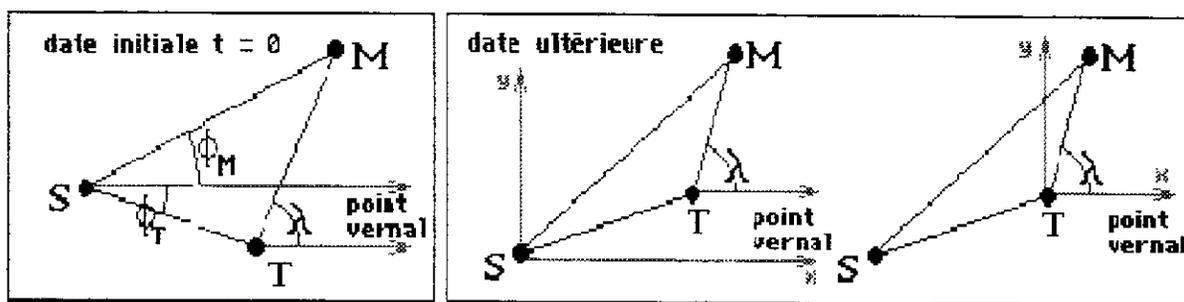
« Un schéma animé vaut mieux qu'un long discours » ...[4]

Sur l'écran de l'ordinateur, l'élève OBSERVE deux triangles en mouvement. Il constate leur égalité et leur déformation simultanée. Il note que deux des trois côtés ont une longueur constante... alors que celle du troisième côté varie. Il remarque enfin que l'un des sommets est immobile pour chacun des deux triangles... mais que ce n'est pas le même. Le professeur se tait....

Une discussion entre les groupes peut s'ouvrir, et un « clic » libère le tracé des trajectoires des 6 sommets des triangles ! Il faut savoir alors détecter dans les regards qui s'allument la joie d'avoir COMPRIS sans explications un phénomène difficile: le Soleil « S », la Terre « T » et Mars « M » s'incrument mentalement sur l'image animée... et la compréhension en termes de « référentiels » de la rétrogradation d'une planète est pratiquement déclenchée !

N'oublions pas cependant que nous sommes en cours de physique et que la modélisation est en général une affaire de nombres... D'ailleurs qu'y-a-t-il « derrière » les images qui nous ont aidés ?

La distance TS (Terre - Soleil) sera notée R_T . La distance MS (Mars - Soleil) sera notée R_M . Ces deux distances restent fixes. T_T et T_M sont respectivement les périodes des mouvements de rotation uniformes des segments ST et SM, qui relie respectivement Soleil et Terre ou Soleil et Mars.



Introduisons un peu de calcul vectoriel !

Pour PTOLEMEE:

$\vec{TM} = \vec{TS} + \vec{SM}$ (TS est le rayon de « l'épicycle » et SM celui du « déférent »).

Pour COPERNIC :

SM et \vec{ST} tournent autour de S à vitesses angulaires constantes mais $\vec{TM} = \vec{SM} - \vec{ST}$.

Pour tous deux, avec des angles exprimés en degrés, les coordonnées des vecteurs \vec{SM} et \vec{ST} sont:

pour \vec{SM} $x_M = R_M \cdot \cos(360 \cdot t / T_M + \phi_M)$ $y_M = R_M \cdot \sin(360 \cdot t / T_M + \phi_M)$

pour \vec{ST} $x_T = R_T \cdot \cos(360 \cdot t / T_T + \phi_T)$ $y_T = R_T \cdot \sin(360 \cdot t / T_T + \phi_T)$

Déduire alors les coordonnées de Mars dans un repère géocentrique convenable est un jeu d'enfant :

$$x = R_M \cdot \cos(360 \cdot t / T_M + \phi_M) - R_T \cdot \cos(360 \cdot t / T_T + \phi_T)$$

$$y = R_M \cdot \sin(360 \cdot t / T_M + \phi_M) - R_T \cdot \sin(360 \cdot t / T_T + \phi_T)$$

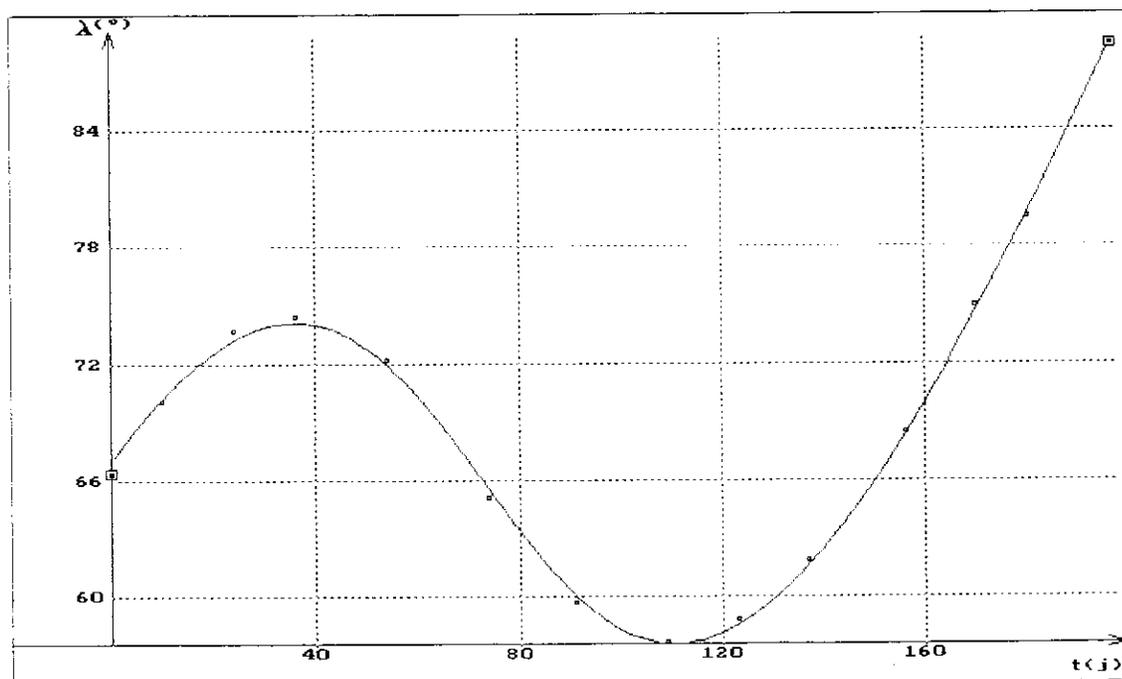
Quant à l'angle λ que fait TM avec l'axe des abscisses (dirigé vers le point vernal, cela va de soi...)

$$\tan \lambda = y/x \quad \text{et} \quad \lambda = \text{Arctan}(y/x)$$

R_T est connu (1 UA), T_T l'est aussi (365,25 jours), T_M est de l'ordre de deux ans puisque deux rétrogradations successives sont ainsi séparées dans le temps. Quant à ϕ_M et ϕ_T , ils sont assez faciles à estimer (pour les puristes ce sont les longitudes écliptiques héliocentriques de la Terre et de Mars à la date prise comme origine des temps, en l'occurrence celle de la première photo). On peut ici raisonnablement les *estimer* respectivement à -10° (la première photo date du 15 Septembre, soit quelques jours avant l'équinoxe d'automne, qui correspondra à 0° !) et à 30° .

Le fabuleux logiciel de modélisation qu'est REGRESSI permet alors de chercher les valeurs qui permettent la meilleure corrélation de nos mesures et du modèle. Mesures et modèle optimisé apparaissent sur la figure ci dessous. Ce graphe permet de se convaincre de la validité des hypothèses de PTOLEMEE et COPERNIC (la précision moyenne est de l'ordre de 0,5%!).

Les valeurs trouvées pour R_M (1,56 UA) et pour T_M (715 jours) peuvent être analysées et discutées.



Il est intéressant de noter que nous avons rarement l'occasion en TP de sciences physiques d'obtenir une aussi bonne adéquation du modèle aux mesures !

Comment ne pas admirer dès lors l'esprit critique et la persévérance de KEPLER associés à son absolue confiance dans les mesures de son maître Tycho BRAHE ? C'est parce que ce modèle ne le satisfaisait pas qu'il se lança dans ses longues recherches : la voie menant aux orbites elliptiques et aux trois lois qui le rendent célèbre était ouverte...

[1] J'ai été amené à mettre au point un logiciel « INF'ASTRO » que je tiens à disposition de tous ceux qui souhaitent tester cette méthode, contre 20 F en timbres poste pour frais de duplication et d'expédition.

[2] L'application « MARS » d'« INF'ASTRO » permet d'afficher à l'écran les images numérisées des diapositives de Daniel TOUSSAINT (« Rétrogradation de Mars »).

[3] « RETROGRADATION » permet l'intégralité de cette série de mesures.

[4] « PTOLEMEE » anime sous vos yeux diverses planètes fictives, en « mouvements uniformes », qu'elles soient intérieures ou extérieures. Elles obéissent cependant à la 3^e loi de KEPLER...

Francis BERTHOMIEU
 Place de l'église
 83111 AMPUS

UN PETIT LABORATOIRE PEDAGOGIQUE POUR L'ETUDE DU SOLEIL

L'idée de monter un laboratoire scolaire dans lequel on pourrait proposer des activités expérimentales centrées sur l'observation et sur l'étude du Soleil est née de la convergence de trois axes de réflexion :

- 1• l'hypothèse qu'il est possible de réaliser une structure qui permettrait de construire un itinéraire culturel et scientifique se déroulant en dehors des programmes scolaires mais qui leur resterait étroitement lié ;
- 2• la nécessité de réunir en un ensemble didactique cohérent s'appuyant sur plusieurs disciplines scientifiques un certain nombre d'expériences sur le Soleil, choisies parmi les plus significatives. En effet, à cause de la rigidité de son cadre spatial et temporel, l'école ne permet pas aux professeurs d'intégrer dans leur enseignement de telles expériences qui d'autre part, étant donnée leur caractère particulier, exigent la mise en oeuvre de connaissances spécifiques ;
3. la volonté de proposer aux jeunes un contenu de connaissances à propos d'un astre facile à observer et dont le rôle est essentiel dans notre vie.

Pour toutes ces raisons, j'ai installé il y a près de 3 ans et demi, à proximité du Collège F.Ruini à Sassuolo, un laboratoire solaire équipé d'un appareillage didactique simple qui permet de mener des activités expérimentales d'astronomie, de façon organisée et systématique (fig.1).

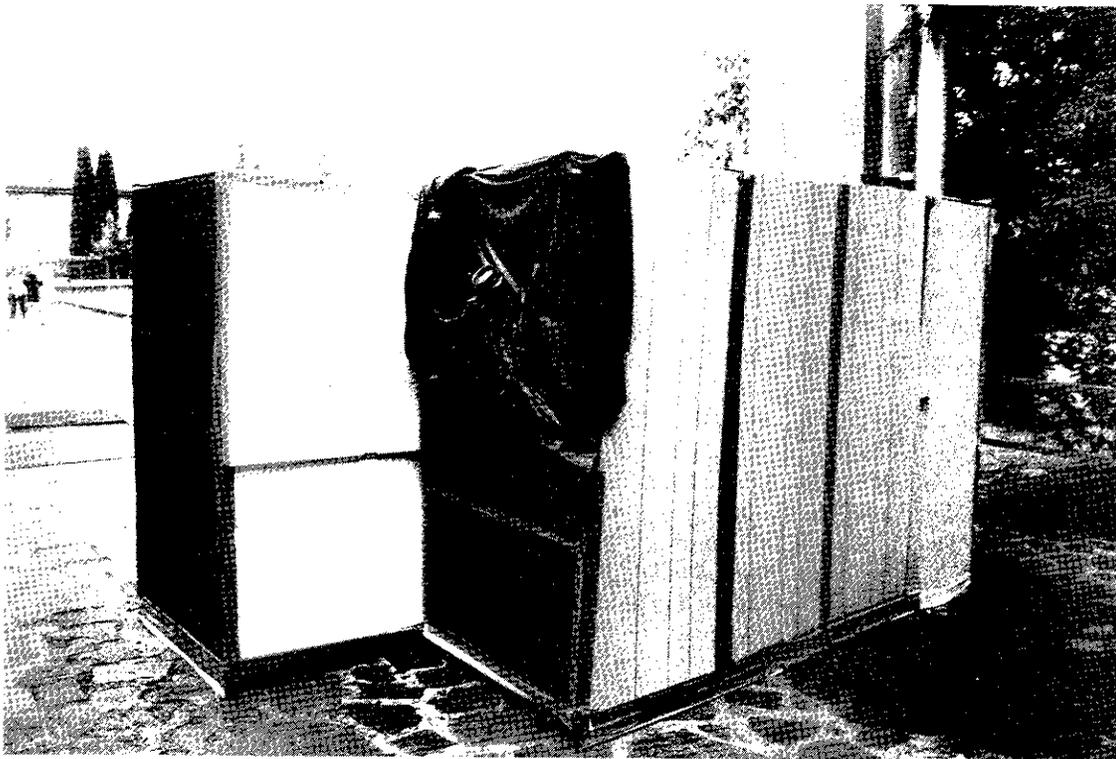


Figure 1 : Le module Solaire ("Camera Solare") avec sa lunette.

Ces activités s'intègrent dans ma progression pédagogique et sont conformes aux objectifs de l'enseignement des sciences et des mathématiques au Collège [1]. Le laboratoire solaire comprend :

A. une petit espace clos dans lequel on a représenté sur un panneau horizontal en polystyrène un modèle du système Terre-Soleil, à l'échelle $1/2 \cdot 10^{11}$. On peut ainsi expliquer aux élèves, en les visualisant, le phénomène des saisons et montrer la position journalière de la Terre sur son orbite.

B. Un espace plus petit dans lequel sont rassemblés divers instruments didactiques : un gnomon, un cadran solaire, un théodolite, un sextant, une méridienne réalisée par les élèves, deux appareils de mesure du rayonnement solaire (un pyrohéliomètre et un pyranomètre), un radiomètre de Crookes, un bolomètre à disque (pour étudier la relation couleur-absorption du rayonnement), un panneau de cellules photovoltaïques de 40 x 40 cm, un tube de carton pour la mesure du diamètre du Soleil et de sa vitesse angulaire apparente, deux spectroscopes, l'un à prisme et l'autre à réseau (600 traits/mm), une lunette d'ouverture relative $f/15$ (objectif de 80 mm, focale 1200 mm) sur monture équatoriale. Cette ouverture relative est en effet particulièrement recommandée car elle permet d'atteindre une résolution de 1,5 secondes d'arc et réduit au mieux les effets des turbulences thermiques qui se produisent dans le tube de la lunette.

Enfin, l'équipement comprend aussi un "parapluie céleste" montrant les constellations et un jeu électronique alimenté à l'énergie solaire, proposé par une firme de produits alimentaires connue et acheté grâce à la participation des élèves.

Sur les parois, quelques posters sont affichés, illustrant les travaux effectués en classe, le principe de fonctionnement des instruments et leur utilisation didactique. Un poster sur le Soleil en rappelle les principales caractéristiques et montre un modèle de sa structure interne.

Tous les instruments sont disposés de façon à constituer un parcours didactique idéal visant à réaliser les objectifs suivants:

1. susciter chez les visiteurs et les utilisateurs du Laboratoire (enseignants et élèves) un intérêt pour l'étude du Soleil et plus généralement pour des thèmes à caractère astronomique
2. faire observer les caractéristiques du mouvement apparent du Soleil (variation de l'altitude avec la saison; migration des points de lever/ coucher) ;
3. apprendre à déterminer, avec des instruments simples, les caractéristiques du Soleil (diamètre linéaire, diamètre angulaire, variation de la vitesse angulaire apparente) ;
4. mesurer, grâce au pyrohéliomètre et au pyranomètre, l'intensité de l'énergie solaire collectée à la surface de la Terre;
5. prendre en compte certains aspects du spectre solaire, aborder les spectres stellaires et donner quelques indications nécessaires à leur compréhension ;
6. offrir la possibilité d'observer à la lunette certains phénomènes de la photosphère solaire.

Toute la progression se développe sur un cycle de 3 ans mais d'autres classes peuvent aussi visiter le Laboratoire qui fonctionne alors comme une exposition classique sur le Soleil et sur les instruments utilisés pour l'observer et l'étudier.

C. Le Module Solaire ("Camera Solare") fait partie intégrante du Laboratoire ; il s'agit d'une

structure mobile en forme de L (hauteur: 1,95 m), construite sur une armature en cornières d'acier avec un revêtement de carton noir, de toile plastifiée noire, de panneaux de polystyrène et de contre-plaqué. La base de la structure est ouverte et montée sur huit roulettes. La structure se compose de deux parties: le Module d'Observation et le Module d'Accueil. Elles sont aisément transportables à l'extérieur. Le Module d'Observation contient la lunette sur sa monture équatoriale, un écran fixe, un autre écran réglable en fonction de la hauteur du Soleil, et un pied photographique. Le télescope peut être mis en station à l'extérieur du Module (seul le tube porte-oculaire reste à l'intérieur), soit complètement à l'intérieur (seul l'objectif dépasse du rideau de plastique noir qui masque la fenêtre). Dans les deux cas, il est possible de projeter une image du Soleil dont le diamètre peut aller jusqu'à 70 cm et de voir ainsi très nettement l'ombre et la pénombre des taches, les facules, l'assombrissement du bord et lorsque les conditions sont particulièrement bonnes, la granulation.

Lors de la séance, le Module d'Accueil (longueur : 3,29 m) est réuni au Module d'Observation (longueur: 2,50 m) de manière à former une configuration d'environ 6 m² de surface capable d'accueillir commodément 10 élèves.

Les élèves (475 en 23 mois d'activité effective) sont très surpris de voir à leurs pieds un énorme disque solaire qui se déplace rapidement, avec ses taches, sur l'écran.

La structure fait un peu "cabane de fortune"; elle est très rudimentaire et peu esthétique mais elle remplit parfaitement les fonctions pour lesquelles elle a été construite.

Après chaque séance, les deux modules sont remisés dans un couloir de l'école. Il suffit de 10 minutes pour transporter les deux structures métalliques dans le jardin attenant au Collège et pour les assembler .

LIMITATIONS ET PROBLEMES D'UTILISATION

Ces limitations viennent du manque de place à l'intérieur et, au mois de mai, de l'élévation de la température à l'intérieur de la structure, problème que j'ai résolu en utilisant un ventilateur électrique.

Le problème principal est peut-être l'impossibilité d'obtenir une image fixe du Soleil, dans la mesure où le télescope n'est pas vraiment orienté, ce qui empêche d'utiliser l'entraînement horaire. Il en résulte quelques difficultés chaque fois que l'on veut photographier l'image du disque pour déterminer les coordonnées des taches par superposition d'un disque de Stonyhurst sur l'image [2].

La poussière est un autre inconvénient: de petites particules peuvent venir se déposer sur l'objectif pendant l'observation. Elles apparaissent comme de petites taches grises sur l'image du disque. Il faut donc nettoyer fréquemment l'objectif. Cela contribue à réduire le problème mais non à le résoudre. Il faut alors mettre en garde les élèves de ne pas confondre d'éventuelles taches causées par des poussières avec les taches solaires.

Il y a enfin le problème de la turbulence de l'image, due à l'échauffement de l'air dans le tube de la lunette. Il est malheureusement impossible d'éliminer ce problème avec le dispositif utilisé.

ACTIVITES PROPOSEES A L'INTERIEUR DU MODULE SOLAIRE

Au cours des trois années du Premier Cycle, l'activité pédagogique a principalement consisté en :

- A** • l'observation qualitative du disque solaire (assombrissement des bords) avec ses taches et ses facules (quand elles sont présentes) et du mouvement apparent du Soleil. On a également comparé la dimension de la Terre à celles du Soleil et de quelques taches solaires;
- B** • l'observation et la mesure du diamètre des taches;
- C** • la détermination de la période de rotation du Soleil.

A • Les classes visitant la structure ont observé le disque solaire, les taches et les facules. On a créé ainsi les conditions favorables à l'étude des premières observations télescopiques par Galilée et par le Père Scheiner. On a également abordé les problèmes du mouvement apparent du Soleil, de l'assombrissement des bords du disque et de la structure de l'atmosphère solaire. Les séances d'une durée de 15 à 20 minutes ont été parfois prolongées dans le petit Module d'accueil du Laboratoire et suivies par d'autres rencontres.

B • Ces activités, de 2 heures environ, ont été proposées spécifiquement aux élèves de la dernière année du cycle mais aussi à des élèves du cycle supérieur. Elles se sont articulées de la manière suivante :

- mesure du diamètre de l'image avec une règle graduée ;
- avec la même règle, mesures répétées des dimensions d'une tache ;
- mesure du diamètre du disque solaire à l'aide du tube de carton selon le schéma suivant : collecte puis analyse des données, estimation de l'erreur puis résolution du problème ;
- détermination du facteur d'échelle de l'image ;
- détermination des dimensions linéaires des taches (seulement pour les taches proches de l'équateur solaire).

La détermination de la dimension linéaire du Soleil et de ses taches offre aux élèves l'occasion d'appliquer de façon pratique les notions de similitude et de proportionnalité. L'activité B, outre la confrontation avec les résultats de l'activité A, a également permis de traiter, au cours de leçons successives, les premiers éléments de l'optique géométrique et d'aborder le problème des instruments d'optique ainsi que le fonctionnement d'une lunette astronomique.

L'activité C est la plus complète. Comme on ne peut pas disposer d'une image fixe du Soleil sur laquelle on puisse pointer la position précise des taches, on photographie l'image projetée sur l'écran afin de comparer entre elles au moins deux photographies séparées de 12 à 13 jours.

En utilisant toujours le même oculaire (un Kellner de 22,5 mm de focale), on peut obtenir des photographies du disque solaire de diamètres identiques (20 ou 30 cm), si on opère toujours avec la même distance oculaire-écran et avec la même lunette. A partir d'un jeu de photos (6 à 10 photos) et d'un gabarit de diamètre égal à celui de la photo, les élèves repèrent grâce à un trou d'épingle les positions successives occupées par le centre d'une même tache au cours de son déplacement sur le

disque solaire. Ils obtiennent alors un ensemble de points qui représentent sur le gabarit le trajet apparent de la tache sur un intervalle d'une demi-rotation. Après avoir déterminé l'équateur solaire et en tenant compte de l'inclinaison de l'axe de rotation du Soleil par rapport à l'écliptique ($7^{\circ}15'$), les élèves peuvent calculer une valeur approximative de la période de rotation. Cette activité est actuellement en cours d'expérimentation.

L'activité C est proposée aux seuls élèves de l'année terminale du Collège et/ou à des élèves du second cycle ou encore à des élèves particulièrement motivés et capables.

Quelle que soit l'activité pratiquée, B ou C, les élèves reportent sur leur cahier de Sciences, lors de chacune des séances d'observation, un croquis du Soleil avec un dessin schématique de la position des taches ou des facules, avec le type d'oculaire utilisé et les renseignements techniques relatifs aux photos traitées. Les activités B et C ont pour objectif d'amener les élèves à pratiquer une démarche de type scientifique à l'occasion d'une activité d'observation astronomique et de recherche, et qui se déroule en dehors de toute problématique.

CONCLUSION

Dans cette première version, le Laboratoire Solaire a fait la preuve qu'il était possible de satisfaire les demandes des enseignants sur des thèmes de géographie astronomique et d'astronomie. Des professeurs d'Italien, de Technologie et surtout de Sciences ont trouvé dans les activités proposées par le Laboratoire Solaire l'occasion d'approfondir ou de faire maîtriser des thèmes propres à leur discipline. En presque deux ans, le Laboratoire Solaire, également ouvert à des classes de Lycée, a permis de lancer et de développer une activité de vulgarisation et d'enseignement de l'astronomie en offrant aux enseignants un matériau par ailleurs non disponible à l'école, mais aussi des indications utiles pour pouvoir répéter dans leurs classes quelques unes des expériences illustrées.

V.Mascellani

Collège F.Ruini, Sassuolo (Modène)

Planétariums de Modène et de Bedonia (Parme)

Traduction : J. Vialle

Notes

[1]. Dans le système éducatif italien, la scolarité obligatoire ("scuola dell'obbligo") va jusqu'à la huitième année d'études (vers 13-14 ans). Les trois dernières années ("scuola media") sont sanctionnées par un examen analogue à notre Brevet des Collèges. L'auteur enseigne à des élèves de 11-12-13 ans, dans un établissement correspondant à un Collège français (NdT).

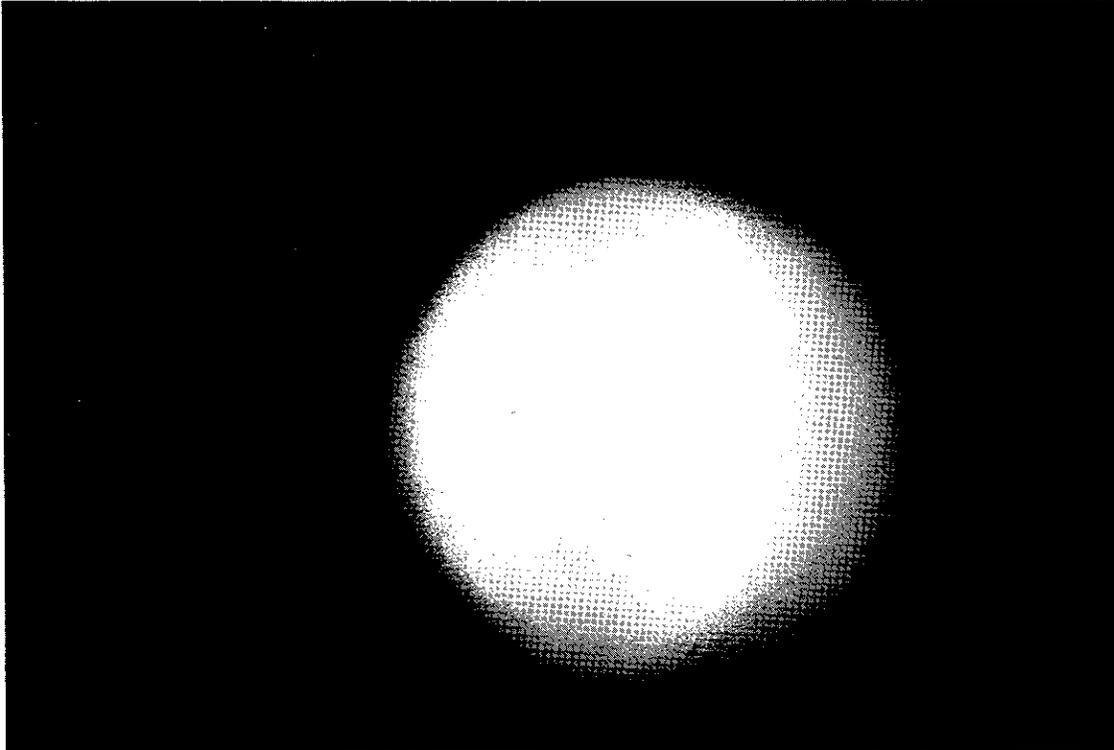
[2]. Les disques de Stonyhurst sont un jeu de gabarits portant un carroyage spécial qui permet de déterminer rapidement les coordonnées héliographiques d'une tache. Chaque disque correspond à une position particulière de l'axe de rotation du Soleil et correspond à une période donnée de l'année (NdT).

Légendes des photos :

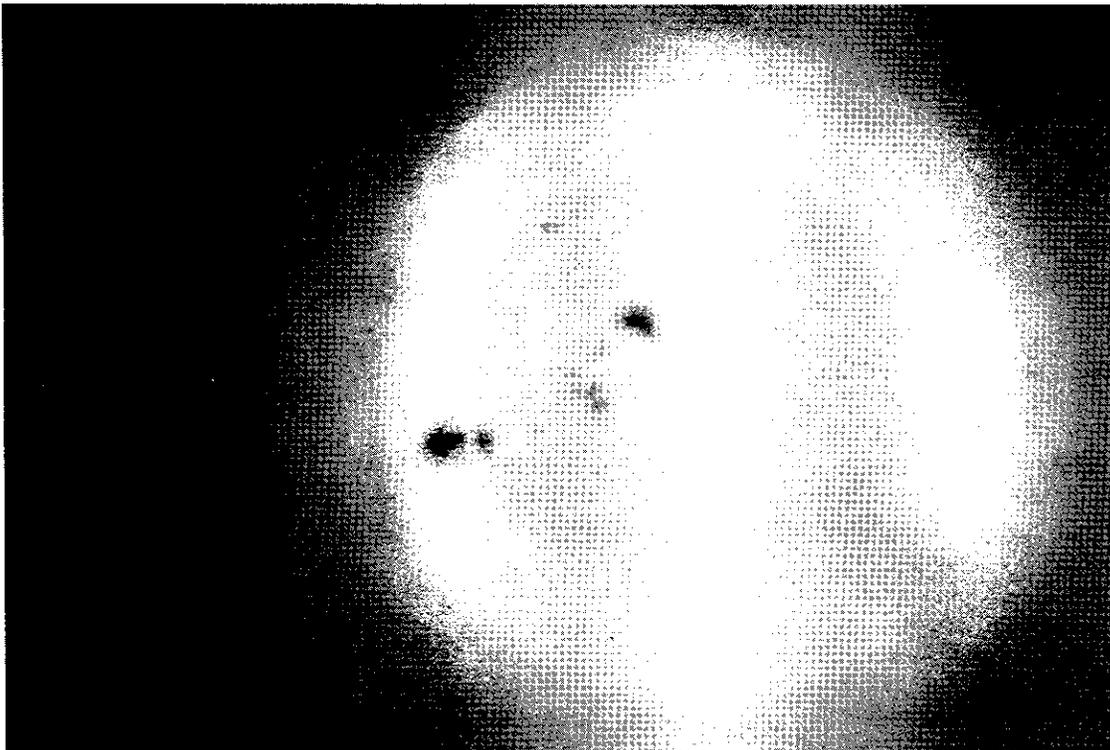
- Figure n°2 : 31-1-95 - Film Ektachrome 100 (100 ASA) - Oculaire KE 22 mm - Focale de l'objectif : 50 mm - Ouverture 5,6 - Durée de l'exposition 1/125 s - Diamètre 45 cm.

- Figure n°3 : 31-1-95 - Film Ektachrome 100 (100 ASA) - Oculaire HM 6 mm - Focale de l'objectif : 50 mm - Ouverture 3,5 - Durée de l'exposition 1/60 s.

L'image du Soleil à travers le télescope est projetée directement sur l'écran.



2



3

Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

L'ATOME DANS L'HISTOIRE DE LA PENSÉE HUMAINE

par Bernard Pullman ; collection "Le temps

des sciences", 440 p. ; éd Fayard 1995 (190 F).

Sur un des plus beaux sujets d'étude qui soit, voici un livre passionnant, d'une très riche documentation (souvent mal logée dans des notes en bas de page alors que le livre souffre de ne comporter ni index des noms ni index des notions) et qui donne pourtant l'impression d'être incomplet, en particulier sur les développements les plus actuels de la physique quantique alors qu'il en dit presque trop sur ce qui n'est pas le thème essentiel. L'Auteur fut le premier titulaire d'une chaire de chimie quantique dans nos universités ; il est membre de l'Académie des Sciences de Paris et de l'Académie pontificale des Sciences. Atomiste convaincu, par conséquent, il est particulièrement intéressé par les positions philosophiques ou religieuses des savants qui, au cours des siècles, ont abordé ou étudié le concept d'atome et en ont tiré une certaine conception du monde. Ce qui l'amène à rencontrer certains épisodes de l'Histoire au cours desquels le comportement de l'Eglise catholique vis à vis de la science et des savants n'a pas toujours été sans "difficultés" (pour employer un mot que Giordano Bruno, Galilée ou Darwin auraient sans doute jugé insuffisant). Le lecteur comprend que Bernard Pullman, par fidélité à cette Eglise, cherche les meilleures excuses à ses errements, il n'est pas forcé de partager la même bénignité. L'essentiel n'est d'ailleurs pas dans ces détails adventices, mais bien sur la merveilleuse aventure de la théorie atomique, de Leucippe à nos jours.

On peut diviser l'histoire de l'atomisme en trois grandes périodes :

- 1) l'Antiquité qui voit la naissance de la théorie puis un long Moyen Age où le souvenir en est conservé sans enrichissement véritable ;
- 2) de la Renaissance au siècle des lumières où se développe une revivification de la théorie sans que les découvertes scientifiques puissent appuyer ou réfuter la théorie ;
- 3) les 19^{ème} et 20^{ème} siècles où l'atomisme scientifique s'affirme avant de s'imposer et de se perfectionner.

Evidemment, il n'y a plus rien de commun entre l'atomisme de Leucippe et Démocrite, au milieu du Cinquième siècle avant J-C et celui des chasseurs actuels de neutrinos, hors l'usage du même mot **atome** qui désigne chez les uns et les autres des concepts bien différents même si, en y réfléchissant un peu, on voit bien les racines communes (excusez ce mot, "racine" bien végétal pour un concept qui ne l'est pas). Que disaient donc de si extraordinaire nos deux philosophes grecs du cinquième siècle, que tout, dans la nature est formé de grains, d'atomes insécables par définition et perpétuellement agités, ce mouvement étant possible grâce à l'existence du vide. En bons philosophes de leur temps, justement désireux de proposer à leurs disciples une conception globalisante du monde, ils affirmaient aussi "*Tout ce qui existe dans l'univers est le fruit du hasard et de la nécessité*". On ne saurait mieux exprimer que la Nature n'a besoin ni d'un créateur ni d'un demiurge ou de divinités animatrices. Si Leucippe et Démocrite, puis leurs successeurs sous d'autres cieux, Epicure et Lucrece, furent si souvent honnis et considérés avec mépris comme de "mauvais esprits", ce fut sans doute moins pour leur atomisme que pour ce "hasard" et cette "nécessité" négateurs des dieux.

Bernard Pullman attache une juste importance aux deux siècles qui vont du temps de Galilée à celui de Kant et au cours desquels l'atomisme reste bien vivant sans que les découvertes scientifiques permettent d'aller au delà des hypothèses. C'est ici, en classant les savants plus par leurs convictions philosophiques ou religieuses que sur leurs appréciations de l'atomisme que les choix de Pullman me paraissent plus contestables.

La troisième partie, disons pour simplifier, celle de l'atomisme scientifique, est pour nous la plus passionnante. Suivons Pullman qui la subdivise astucieusement en 19^{ème} siècle au cours duquel on est à la recherche d'un atome invisible et indivisible et 20^{ème} siècle où l'on passera à l'atome visible et divisible.

Au début du 19^{ème} siècle, ce sont les chimistes qui découvrent la loi des proportions définies, la loi des proportions multiples, les lois volumiques de Gay-Lussac, le tableau périodique des éléments de Mendeleïev, toutes découvertes qui convergent vers la théorie atomique. Si bien qu'à partir de 1860 on peut distinguer parmi les savants ceux qui cherchent de nouvelles preuves, ceux qui, en spectateurs prudents évitent de se prononcer (toute époque a ses braves) et les opposants acharnés si fâcheusement guidés par Berthelot.

L'aube du vingtième siècle, le grand siècle de l'atomisme, voit le grand changement avec, en 1897 la découverte de l'électron par Thomson. En 1913, Jean Perrin publie **Les Atomes** et donne treize méthodes pour déterminer le nombre d'Avogadro et les treize méthodes aboutissent à des résultats heureusement convergents. Dès lors, il n'est plus permis de douter de la réalité de l'atome (j'ai pourtant souvenir d'un bon enseignement de physique et de chimie qui, encore en 1933, pouvait laisser un doute et maintenir l'atome au niveau d'hypothèse commode ; en tout cas, dans cet enseignement on ignorait qu'en 1924 la thèse de de Broglie permettait déjà d'aller au delà de l'"Atome de Bohr"). Viennent ensuite tous les développements de la physique quantique, et la recherche continue, la théorie atomique n'a pas fait son temps, si l'on entend par là qu'elle n'est pas dépassée mais qu'elle s'est prodigieusement perfectionnée.

En un autre sens, on peut dire que la théorie atomique a fait notre temps, a donné à notre temps son importance radieuse –voyez ses merveilles – et son climat aux couleurs d'incendie, de cataclysme, ou d'aurore. En ces jours anniversaires d'Hiroshima, on ne manquera pas d'opposer la science qui guérit et celle qui tue. Ce sont des chimistes qui ont su fabriquer les gaz d'Auchwitz, ce sont des savants physiciens qui ont su contruire la bombe d'Hiroshima. Chimistes et physiciens ne sont pas pour autant tous coupables, non plus que hommes et femmes de ce temps-là car comme disait Leucippe, il y a le hasard et la nécessité.

C.W.

HISTOIRE DE ... L'ASTRONOMIE

par André et Georges Delobbe avec la collaboration de J-M.Auzias, P.Barbe, J.Chappelet, C.Gauthier, A.Juillard, C.Kresay, R.Mercier, M.Pellaton ; collection Périscope, 48 p.; publication de l'Ecole Moderne Française (06376 Mouans-Sartoux Cedex)

Cette oeuvre collective où nous retrouvons avec plaisir la patte de notre amie Jeanine Chappelet a toutes les qualités du travail d'une équipe d'enseignants dans l'esprit de l'Ecole Moderne Française. Leur texte a été relu et éventuellement critiqué par deux astronomes professionnels, Jean-Pierre Brunet et René Dumont.

Voici donc, en 48 pages, un exposé de toute l'histoire de l'astronomie dans ses grandes lignes. Rédaction illustrée dans une juste proportion par la reproduction de documents bien choisis, qui commence par les rares témoignages sur l'astronomie préhistorique, rares mais frappants comme le site de Stonehenge et qui se prolonge jusqu'aux recherches contemporaines sur la structure de l'Univers et son évolution ainsi que sur la structure de la matière. Un joli petit livre à mettre entre les mains de tous les écoliers pour faire rêver et réfléchir ces petites têtes studieuses.

HIROSHIMA OUBLIE

par Béatrice Faillès ; 200 p. ; Edition N°1, 1995 (99 F)

Je répète le titre du livre, car les capitales de la machine à écrire peuvent induire en erreur. Ce titre est **Hiroshima oublié**, un accent grave qu'il fallait souligner. Ce livre est un recueil de témoignages pris dans la presse du 7 au 27 août 1945 ainsi qu'un choix de photographies des victimes.

L'Auteur est une historienne qui appartient au Groupe d'Etudes Français de l'Histoire de l'Armement Nucléaire, branche française de Nuclear History Program. Le montage des textes souligne le décalage entre la tragédie vécue et la vision abstraite de la guerre atomique par l'opinion occidentale.

DANS LES REVUES

La Recherche – n°275 avril 95 – Le neutrino, une particule à problèmes (Michel Cribier, Michel Spiro, Daniel Vignand, auteurs de "La lumière des neutrinos" dont les CC70 ont rendu compte p.33). L'esprit de famille chez les astéroïdes (Daniel Benest, Paolo Farinella, Claude Froeschlé) *sur le rôle de Jupiter*. Chiron : astéroïde, comète ou planète (Fabienne Casoli) *sur la famille éloignée...*

– n°276 mai 95 – Les quasars, filtres de l'Univers (Patrick Boissé et Patrick Petitjean) *"filtres" car les raies d'absorption dans les spectres des quasars informent sur les nuages de gaz intergalactiques interposés.*

Pour la Science – n°212 juin 95 – Vers les confins de l'héliosphère (J.Jokipli et F Mc Donald) *En s'éloignant du Soleil les sondes Pioneer et Voyager révèlent les caractéristiques du vent solaire qui balaie l'héliosphère.*

Descartes, les éclipses de Lune et la vitesse de la lumière

Dans les cahiers Clairaut numéros 57 (pages 17 et 20) et 67 (pages 5 et 11), on parle rapidement de la méthode de Descartes qui permet d'affirmer, à partir des observations des éclipses de Lune, que la vitesse de la lumière est si ce n'est infinie, du moins très grande. J'ai essayé de calculer la déviation dont parle Descartes avec la valeur actuelle de c , et j'ai obtenu près d'une minute d'arc.

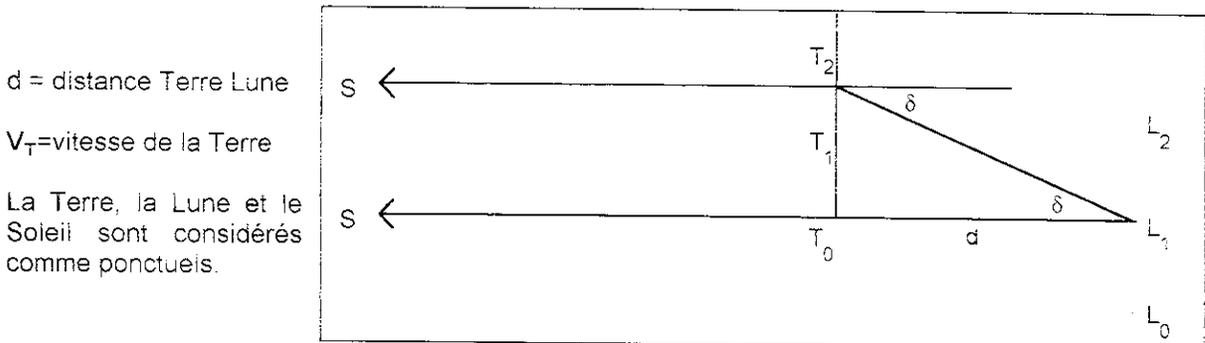
Dans son excellent livre "Et pourtant elle tourne" (Editions du Seuil), Jacques Gapaillard fait très brièvement allusion à cette méthode et donne un résultat de déviation nettement inférieur à la seconde d'arc (page 262). Pour savoir d'où provenait cette différence, je me suis permis de lui écrire et il m'a très gentiment répondu. L'erreur qu'avaient faite Descartes et Huygens, c'est qu'ils n'avaient pas tenu compte de l'aberration de la lumière, phénomène encore inconnu à l'époque. Je vous propose d'analyser d'un peu plus près ce problème, en reprenant très largement les méthodes de calculs de Jacques Gapaillard.

I Principe de Descartes

Descartes pensait que, si la vitesse de la lumière est finie, les astres Soleil Terre Lune ne seront plus alignés au moment où l'on observe une éclipse de Lune depuis la Terre. Et la mesure de l'angle que fait la direction du Soleil avec la direction de la Lune au moment de l'éclipse devrait permettre de trancher entre une vitesse finie ou infinie.

Tout ceci se comprend mieux avec un schéma:

T représente la Terre, L la Lune et S le Soleil. J'ai supposé ici le Soleil très éloigné.



Instant $t_0 = 0$: La Terre est en T_0
Un photon représentant la limite de l'ombre frôle la Terre.

Instant $t_1 = \frac{d}{c}$: Le photon arrive sur l'orbite de la Lune.
La Lune est justement en L_1 à ce moment: C'est l'instant de l'éclipse.

Instant $t_2 = \frac{2d}{c}$: Le photon, réfléchi par la Lune, revient sur la Terre qui est alors en T_2 .

$$\text{On a : } T_0 T_2 = V_T \times (t_2 - t_0) = V_T \times \frac{2d}{c} = \frac{2dV_T}{c}$$

En supposant le Soleil à l'infini (ce qui ne change pas grand chose ici):

$$\text{L'angle } (\overrightarrow{T_2 S}, \overrightarrow{T_2 L_1}) \text{ mesure } \pi - \delta \text{ avec } \delta \approx \tan \delta = \frac{T_0 T_2}{d} = \frac{2dV_T}{c} \times \frac{1}{d} = 2 \frac{V_T}{c}$$

En prenant $V_T = 30$ km/s et $c = 300\,000$ km/s, on obtient 2×10^{-4} rd soit **41"** environ.

Malheureusement, ce calcul est faux puisqu'il faut tenir compte de l'aberration de la lumière que Descartes ne connaissait pas puisqu'elle sera découverte par Bradley en 1729.

II L'aberration de la lumière

La Terre se déplaçant autour du Soleil, on n'observe pas une étoile dans la direction où elle est réellement car la vitesse de la lumière est finie. On compare souvent ce problème avec le cas d'un automobiliste se déplaçant sous la pluie: même si celle-ci tombe verticalement, elle semble venir frapper le pare-brise.

Cette aberration ne concerne que la direction observée de la source et n'est pas en contradiction avec le fait que la vitesse de la lumière est constante.

Imaginons un photon p en provenance d'une étoile E . Dans quelle direction faudra-t-il pointer un télescope pour observer cette étoile?

E = étoile fixe

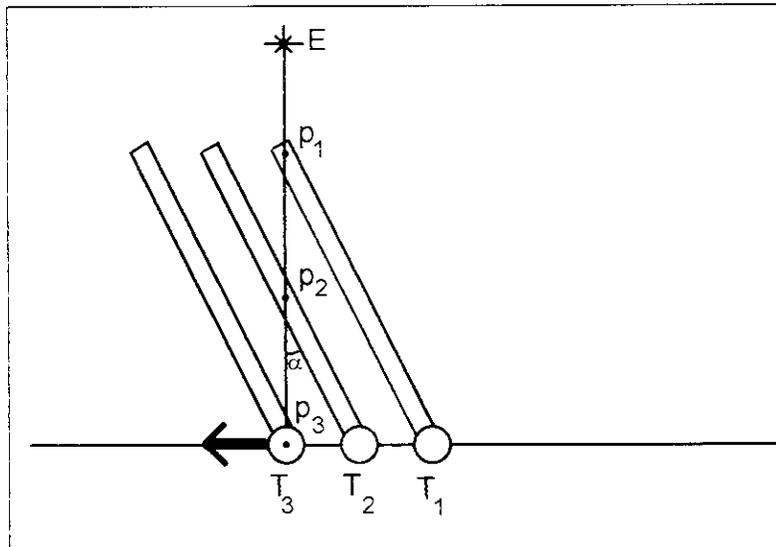
p = photon représenté aux instants t_1, t_2, t_3 .

T = Terre représentée aux instants t_1, t_2, t_3 .

V_T = vitesse de la Terre.

c = vitesse de la lumière.

Le rectangle représente un tube de télescope.



Pour que le photon p suive le tube du télescope, celui-ci doit être incliné d'un angle α par rapport à la direction de l'étoile avec $\alpha \approx \tan \alpha = \frac{T_2 T_3}{p_2 p_3} = \frac{V_T \times t}{c \times t} = \frac{V_T}{c}$

III Retour à Descartes

Dans les calculs de la partie I, il faut donc ajouter deux corrections d'aberration, l'une pour la direction du Soleil, l'autre pour la direction de la Lune, toutes deux égales à $\alpha = \frac{V_T}{c}$.

L'angle $(\vec{T_2 S}, \vec{T_2 L_1})$ au I mesurait $\Pi - \delta = \Pi - 2 \frac{V_T}{c}$.

Avec la double correction en aberration de 2α ou $2 \frac{V_T}{c}$, on retrouve un angle égal à Π .

La déviation à laquelle avait pensé Descartes est exactement compensée par l'aberration de la lumière (ce n'est pas un hasard comme on peut s'en apercevoir avec l'explication du IV dans un repère centré sur la Terre).

Néanmoins, si on veut être précis, on ne peut plus considérer maintenant le Soleil à l'infini.

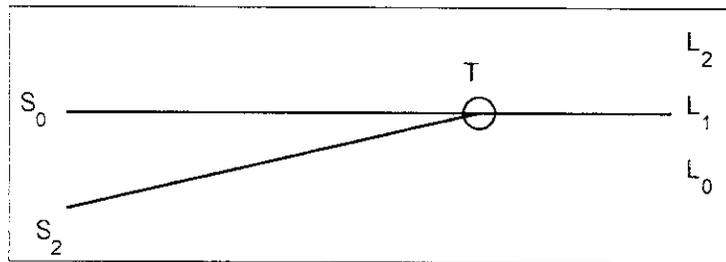
Entre l'instant t_0 et l'instant t_2 de la partie I, la Terre s'est déplacée de T_0 à T_2 et on peut calculer l'angle $(\vec{ST_0}, \vec{ST_2})$:

$$\gamma = \frac{T_0 T_2}{ST_0} = \frac{2d V_T}{c \times 1UA} = \frac{2d}{c} \times \frac{2\pi \times 1UA}{1an} = \frac{4\pi d}{c \times 1an} = \frac{4\pi \times 384000}{300000 \times 365 \times 24 \times 3600} \text{radian} \approx 0,1''$$

La déviation est de l'ordre du dixième de seconde d'arc seulement !

IV Dans un repère galiléen lié au centre de la Terre

Le problème est beaucoup plus simple si l'on considère la Terre fixe:



A l'instant $t_0=0$, un photon frôle la Terre. On voit le Soleil dans la direction S_0 (direction qui indique où était le Soleil 8 min 20s plus tôt, mais cela n'a pas d'importance).

A l'instant t_1 de l'éclipse, la Lune est en L_1 et le photon a rejoint son orbite: $t_1 = \frac{d}{c}$

L'éclipse est observée depuis la Terre à l'instant t_2 avec $t_2 = t_1 + \frac{d}{c} = 2\frac{d}{c}$

Si on considère le Soleil à l'infini, il n'y a aucune déviation observable, la Lune et le Soleil seront en opposition.

Mais si on tient compte, on trouve le même angle qu'au III, soit 0,1", beaucoup plus faible que ce qu'avait pu imaginer Descartes.

En conclusion, l'idée de Descartes était intéressante mais néanmoins fautive. En analysant mieux son problème dans deux repères différents, il aurait pu, avant Bradley, découvrir l'aberration de la lumière. Quant à la déviation de 0,1", elle ne me semble pas mesurable. C'est l'angle dont la Lune avance en 2 dixièmes de secondes environ...

Pierre Causeret

Bibliographie:

Jacques Gapaillard: Et pourtant elle tourne! Le mouvement de la Terre. Ed du Seuil

Cahiers Clairaut numéros 57 (pages 17 et 20) et 67 (pages 5 et 11)

Sur l'aberration de la lumière: Méthodes de l'astrophysique. Lucienne Gougenheim. Hachette

CALAMITIC PARK

Cette année, j'étais en seconde ; avec notre "prof de bio" (ou plutôt de SVT) nous avons étudié un peu d'astronomie. Et nous avons fait la visite du *Parc aux Etoiles* de Triel sur Seine, qui fut vraiment instructive.

D'abord nous sommes entrés dans une grande salle, nous pensions que c'était peut-être pour voir un film, mais il y a eu seulement un monsieur-astronome qui a parlé pendant une demi-heure en traçant de grands traits à la craie sur un tableau. Il nous a dit qu'on était dans un observatoire mais qu'on ne pouvait plus observer à cause de la pollution et que dans toute la France tous les observatoires fermaient les uns après les autres pour la même raison. J'ai dit à ma copine que c'est tout de même malheureux si on ne pouvait plus voir les étoiles et elle m'a dit qu'en allant au Maroc elle en voyait beaucoup.

Ensuite le monsieur-astronome a dit qu'il y avait 400 milliards d'étoiles dans notre galaxie (c'est le dernier chiffre qui vient de sortir !), ce qui faisait 40 milliards de systèmes comme le système solaire puisqu'il y a à peu près une étoile sur dix qui est entourée de planètes; comme on peut penser qu'il y a environ une planète sur dix qui est habitée (c'est toujours une sur dix, c'est facile à retenir !), cela nous donne 4 milliards de planètes habitées, comme la Terre, dans notre galaxie, et ce chiffre, on l'a tous bien enregistré !

Et puis il nous a parlé des planètes et de Pluton, il a fait une grande courbe à la craie pour nous expliquer le trajet de Voyager, mais il nous a surtout raconté comment on essayait de communiquer avec les extraterrestres, et aussi comment on allait coloniser l'espace.

Nous sommes allés ensuite dans un long couloir sombre où des vitrines éclairées expliquent l'univers, et tout, avec une musique planante. D'abord, on voit le big-bang, tout en coton fluo jaune et orange: ça a dû être vraiment joli quand ça c'est passé ! Ensuite on a vu les galaxies, en coton aussi, et la nôtre avec le Soleil. Une dame-astronome nous a expliqué avec une voix mystérieuse comme si elle nous racontait l'histoire de la méchante sorcière, qu'au centre de notre galaxie il y avait un trou noir qui attirait les étoiles et les mangeait. C'est là qu'avec ma copine on a commencé à avoir un peu peur mais notre prof de physique nous a dit qu'il ne fallait pas s'inquiéter car ce n'était pas vrai !

D'autres vitrines montrent les planètes et les constellations, et la dame-astronome nous a dit que si on était sur Mars on ne verrait pas du tout les constellations avec la même forme que sur la Terre. Puis toute la fin du couloir est consacrée à la Conquête de l'Espace. Dans une vitrine on voit comment un astronome s'est embarqué dans une nacelle accrochée à une multitude de ballons; avec ma copine on pensait que ce n'était pas vrai non plus, mais notre prof de physique nous a dit que si ! que ça c'était bien vrai, tout comme ce qui suivait: Spoutnik, les missions Apollo, les sondes Voyager et... ah non ! les maisons sur Mars, ça n'existe pas encore !

La dame-astronome nous a alors conduits dans une autre salle avec des pastilles fluo au

plafond. Elle a pris une voix sévère pour dire que sûrement ça allait nous faire hurler de rire parce qu'elle avait un laser alors on a demandé tout bas aux autres ce qu'il y avait de drôle, et personne ne savait. La dame a dit qu'on était vraiment infernaux et que si ça continuait elle ne nous montrerait pas les étoiles. On trouvait pourtant qu'on était plutôt sages, il y a des fois où on ne sait plus ! En tous cas on doit être nuls et nos profs aussi car personne n'a réussi à reconnaître la Grande Ourse. Mais on n'osait plus rien dire alors on a suivi sans poser de question !

L'étape suivante, c'était une petite coupole où l'on pouvait voir une lunette: la dame a démonté l'oculaire et en a mis un autre, elle a dit qu'on pouvait faire ça quand on voulait mieux voir les étoiles la nuit. Si le ciel avait été moins nuageux elle nous aurait montré la projection du Soleil sur un écran mais là elle ne pouvait rien nous faire voir de plus. Alors notre prof de physique lui a demandé de nous présenter la monture équatoriale, elle a dit que ce n'était pas possible et que pour cela il fallait un spécialiste. "Justement, a dit la prof, je suis spécialiste !" et on a bien vu qu'elle disait ça pour rire ! Elle nous a fait chercher le Sud, puis le Nord, on a imaginé où était l'étoile polaire, comparé avec l'axe de la monture, et en gros on avait compris...

Avant de remonter dans le bus on a pu parler encore un peu entre nous des trous noirs, des extraterrestres et de Pluton: c'est drôle, notre prof de bio nous avait dit que la seule chose dont on était sûrs, c'est que Pluton était une planète gazeuse, et là on nous a dit le contraire... Mon avis, à moi, c'est que les scientifiques ne savent pas tout, et en plus ils ne sont pas d'accord ! Ce n'est pas grave: ce qui m'intéresse le plus, ce sont les mystères et les énigmes ! J'aimerais bien lire "Grandes civilisations du passé" de Time-Life; sur le dépliant publicitaire ils ont écrit: "Guerre des étoiles chez les Mayas - ils portaient au combat lorsqu'apparaissait l'étoile du matin (...) et ils savaient prévoir les éclipses de Soleil et de Lune sans aucun télescope".

Un jour dans la vie de Mélanie DUGENOU
(Anne-Marie LOUIS Lycée Violet-le-Duc
78640 VILLIERS-St-FREDERIC)

LE SAVIEZ-VOUS : QUI "INVENTA" L'EFFET DE SERRE SUR VENUS ?

Avec son manteau de nuages, la planète réfléchit la majeure partie de la lumière solaire, et sa surface aurait dû être relativement aussi froide que celle de la Terre. Ces infernales conditions ont pu se créer grâce à un effet de serre : cette explication fut proposée en 1940 par l'Allemand Rupert Wildt. Il supposait que les nuages de Vénus se comportent exactement comme les verrières des serres. Laisant passer la lumière, le verre permet au rayonnement solaire de chauffer les plantes en serre. En retour, elles libèrent de l'énergie calorifique, mais au cours de ce processus le rayonnement a subi un léger changement : sa longueur d'onde a augmenté et a évolué du visible à l'infrarouge. Le verre est opaque à l'infrarouge; il absorbe donc cette radiation et la réémet vers les plantes ; ce processus ne constitue pas un cycle fermé : une partie de la chaleur parvient à s'échapper de la serre et, au bout d'un certain temps, la température à l'intérieur de celle-ci se stabilise à une valeur supérieure à celle de l'air extérieur. Selon Wildt, Vénus était initialement une planète plus froide, dotée d'une atmosphère dense et humide constituée des gaz dégagés par la croûte en cours de refroidissement. Mais, l'énergie du Soleil étant partiellement piégée par les nuages, la température s'éleva inexorablement, chassant finalement le gaz carbonique des roches elles-mêmes. L'atmosphère, enrichie en gaz carbonique, aurait alors agi comme les vitres des serres, absorbant puis réémettant le rayonnement infrarouge et continuant ainsi à élever la température du sol jusqu'au niveau mesuré aujourd'hui.

Les capteurs CCD et l'imagerie numérique au lycée

Depuis dix ans, les jeunes du Club astro M11 du lycée Diderot, au sein de l'Observatoire Astronomique Amateur de Narbonne, travaillent sur les capteurs CCD. Sous l'impulsion de Ch.Buil (1985), les premiers essais ont permis l'utilisation d'une barrette TH7801 pour l'obtention d'images lunaires. L'acquisition des lignes se faisant de façon séquentielle, l'entraînement en ascension droite du télescope était supprimé - Les diverses équipes qui se sont succédées depuis ont apporté divers prolongements au programme qui devait déboucher sur la construction de plusieurs caméras à barrette puis à matrice (offerte par le C.E.A. de Saclay à la suite de la visite de 1994 - merci encore à Mr Berge) et à l'achat d'une caméra LYNXX destinée à poursuivre les travaux astronomiques indépendamment des recherches sur le pilotage électronique et informatique des matrices.

Les **Exposciences** et les **Olympiades de Physique** devaient constituer l'élément motivant pour ces équipes de jeunes soucieuses de pousser chaque année le "bouchon" un peu plus loin.

C'est de cette expérience dont je souhaiterais vous entretenir.

LES CAPTEURS CCD ET LES PROGRAMMES DE PHYSIQUE

Les capteurs CCD font actuellement partie intégrante des nouveaux programmes en TS. Outre cet aspect officiel, il devient possible au travers d'un CLUB ou d'un ATELIER SCIENCE de développer des notions intéressantes telles que :

- l'interaction rayonnement-matière, le bruit de fond thermique ;
- puits de potentiel et transfert de charges - horloges de transfert) ;
- signal analogique et sa numérisation ;
- carte entrée-sortie permettant le dialogue avec un ordinateur ;
- traitement d'images et application à l'imagerie numérique.

La réalisation concrète des divers éléments du montage exige des compétences sérieuses en électronique et en informatique. mais, comme le souligne mon collègue Francis Berthomieu, sur ce point, les jeunes ont parfois à nous apprendre...

- sur la réalisation des circuits ;
- sur l'écriture du logiciel ETOILE (Etude et Traitement par Ordinateur d'Informations Lumineuses pour l'Enseignement) !

**Je tiens à préciser que ces deux derniers points sont l'oeuvre d'anciens élèves de TE qui continuent à participer aux animations du Club Astro M11 et de l'Atelier Science.*

Je vous renvoie à l'article paru dans le BUP en mars 1994. Un dossier **MAFPEN** (collection "itinéraires") est édité par le Rectorat de l'académie de Montpellier présentant un dossier complet avec des fiches de TP : l'essentiel des travaux portant sur l'imagerie en astronomie, Lune, planètes, Soleil en H_{α} , fond du ciel. Notre participation aux deuxièmes Olympiades de Physique en 93/94 devait provoquer une nouvelle orientation de nos recherches : la perspective de voir intervenir les CCD dans les programmes de TS m'incita à choisir pour thème : les capteurs CCD, de la théorie à la pratique.

LES OLYMPIADES DE PHYSIQUE

A l'exemple des olympiades de chimie, elles offrent la possibilité de faire valoir le travail en équipe autour d'un thème choisi par la participants. Une aide financière est apportée à la suite du dépôt d'un dossier présentant le projet ; depuis cette année, des heures de décharge sont accordées (HSA). Les pré-inscriptions sont faites au niveau d'une équipe de Première S (avril), une inscription définitive l'année suivante. Le projet, depuis cette année, est donc réalisé en deux ans afin de permettre aux divers projets d'être conduits correctement à terme.

Organisées par la SFP et l'UDP, les olympiades permettent surtout de motiver des jeunes à la recherche scientifique. Elles exigent beaucoup de sérieux, de compétences et favorisent le travail en groupe, le partenariat. Elles offrent aussi la possibilité de se mesurer à d'autres groupes de jeunes et d'établir ainsi des contacts fructueux.

En ce qui concerne notre groupe, déjà soudé autour du CLUB ASTRO, il favorisa la création d'un ATELIER SCIENCE (1991) et provoqua l'embauche par le proviseur du lycée Diderot d'un ancien élève chômeur sous la forme d'un C.E.S. (Contrat Emploi Solidarité). Nous avons "raté", par manque d'information, les premières olympiades, mais nous étions présents à la sélection régionale des secondes, à Grenoble.

Le thème choisi portait naturellement sur les capteurs CCD et leurs applications. L'exposé fait par les sept jeunes de l'équipe du lycée Diderot de Narbonne était illustré par un film vidéo réalisé par notre ATELIER VIDEO SCIENCE en collaboration avec un professionnel (durée 9 mn) et par des travaux pratiques destinés à mettre en évidence de façon qualitative et quantitative l'aspect *ondulatoire* de la lumière (diffraction-interférences-spectrométrie) ce qui paraît assez amusant quand on sait que la théorie des CCD s'appuie sur son aspect *corpusculaire* (dualité onde-corpuscule au coeur des travaux !). Les contraintes de qualité, de sérieux et de compétences exigées par ces olympiades de physique ont imposé à toute l'équipe beaucoup de "professionnalisme" source de souvenirs exceptionnels. Le jury n'a pas su trouver matière à sélection cette année-là, pourtant ...

L'année suivante, une nouvelle équipe de Première S, travaillant sur la construction d'un intensificateur d'images à partir d'une galette à micro-canaux XX1390 devait offrir au CLUB ASTRO un dispositif complémentaire intermédiaire entre :

- les caméras CCD certes performantes et efficaces mais associées à une électronique parfois lourde et à une informatique pouvant incommoder certains,
- et les films photographiques spéciaux et hypersensibilisés offrant de superbes négatifs mais exigeant des temps de pose souvent très longs.

La présentation du travail, au lycée Henri IV à Paris, devait cette fois être reconnue et récompensée d'un Premier Prix (24 000 F) qui devait permettre la poursuite des travaux sur ... les CCD (en particulier par l'achat d'une caméra plus performante).

Les quatrièmes olympiades seront, en principe, destinées à présenter des travaux sur le Soleil (taches solaires, protubérances, spectrométrie) avec la réalisation, peut-être, de séquences animées, constituées d'une succession d'images fixes dans la bande H_{α} . L'équipe de jeunes est donc la même que celle de cette année.

CONCLUSIONS

L'illustration qu'il existe bien une **culture scientifique et technique** est possible. Nous sommes quelques uns à y consacrer pas mal de nos forces et de notre temps. Nous y prenons certes du plaisir et sommes bien convaincus qu'il s'agit là plus d'une façon de vivre que d'un moyen de justifier quelques idées. Le fait de pouvoir exploiter certaines techniques et d'y associer quelques uns de nos jeunes les plus motivés (pas nécessairement les plus capables scolairement parlant) permet d'élargir son horizon, d'intervenir dans d'autres secteurs et d'y faire d'intéressantes rencontres. Ainsi, venons-nous d'être invités à intervenir lors d'un colloque organisé par l'INRP et le CNAM sur les CCD et leurs applications dans l'enseignement des sciences physiques (15-16 juin 1995). - Merci J-L. Touze !

Difficultés rencontrées :

Elles existent et ne doivent pas être masquées à tous ceux qui souhaitent donner de leur personne dans le cadre de cette animation CULTURE SCIENCE TECHNIQUE en milieu scolaire. Elles découlent essentiellement d'une méconnaissance des actions conduites et des lourdeurs des procédures administratives pour ce genre d'opérations où des initiatives doivent être prises rapidement (achat de matériel d'occasion-avance de financement). Il est parfois difficile de faire la promotion de ce type de travail (articles de presse, publications, expositions, conférences) indispensable à la réussite de l'action conduite (subventions, sponsors, ...) et d'éviter quelques mesquineries.

L'enthousiasme se partage difficilement ! La diversité des expériences menées par certains collègues "passionnés" est critère de réussite de notre système éducatif. Ce type d'action mérite évidemment d'être correctement et efficacement soutenu pour éviter tout

découragement des animateurs et des équipes de jeunes solidaires dans le cadre de cette ANIMATION CULTURE SCIENCE ET TECHNIQUE.

Permettez-moi de joindre à ce dossier les bilans des deux dernières années relatif aux animations que nous organisons avec les jeunes Narbonnais auprès des scolaires et du grand public (soirées d'observation, conférences, exposition, Fête de la science, etc).

Jacques Cazenove (juin 1995)

Post-Scriptum

Pour compléter son exposé, notre Collègue Cazenove nous donne un schéma général des activités qu'il anime autour de Narbonne ; la liste des divers PAE effectués depuis la création de son CLUB ASTRO M11 est assez impressionnante ainsi que les succès de son ATELIER SCIENCE.

L'AVENTURE SCIENTIFIQUE AVEC LES JEUNES

C'est le très fort besoin de faire partager notre expérience qui nous amène à présenter ce bilan de quatorze années d'activités auprès des jeunes du lycée Diderot de Narbonne.

L'OBSERVATOIRE de Narbonne, créé en 1981, fonctionne essentiellement grâce à l'enthousiasme des lycéens du CLUB ASTRO M11 créée en parallèle à la même date. C'est dans son cadre que nous avons organisé une animation culture science et technique. Le double financement (Mairie, Conseil Général, Conseil Régional, DDJS pour l'ANAP/Rectorat-DRRT-ANVAR-FSE pour le CLUB ASTRO) ainsi que diverses subventions (Banques-Entreprises) ou dons en matériel (grandes surfaces-entreprises) ont permis, par le biais de dépôt de PAE, de disposer à ce jour d'un matériel permettant de nombreux travaux de qualité dans le domaine de l'astrophysique et de la radioactivité, de la vidéo-science ainsi que de l'animation scientifique et technique. La création de l'ATELIER SCIENCE en 1991 a permis une plus grande ouverture et offert d'autres possibilités.

LES EXPOSCIENCES (régionales et internationales), les rencontres, festivals ou semaines d'animation, les olympiades de physique, la FETE DE LA SCIENCE, sont autant d'occasions destinées à motiver les équipes et présenter les travaux réalisés (documents, expositions, films vidéo, articles de presse).

DES DEPLACEMENTS OU VOYAGES A THEME ont permis aussi de nouer des liens privilégiés avec certains centres de recherche (CEA de Saclay, CERN, ENS, Observatoire du Pic du Midi, Comurhex) et plusieurs personnalités (P.Lena, P.Berge, P.Baton, E.Davoust, H.Andrillat, H.Cohen-Tannoudji).

Le fait que les animations soient préparées et présentées par des équipes de jeunes à l'intention d'autres plus jeunes me semble aussi un gage de réussite et d'efficacité.

L'OBSERVATOIRE DE NARBONNE dispose à ce jour de deux coupoles d'observation parfaitement équipées (lunettes, télescopes, coronographe, spectromètre, chambre de Schmidt, caméra CCD, intensificateur d'images) et d'un planétarium (25 places). Il est à la disposition des groupes qui souhaitent offrir une soirée d'observation ou encadrer la réalisation d'un PAE, d'une exposition, d'un voyage. L'expérience acquise également dans certains domaines (construction de matériel, expérimentation, technologie CCD) peut être partagée avec tous ceux qui souhaitent entreprendre des projets avec leurs élèves (intervention en milieu scolaire, prêt de matériel, exposition, conférences).

Les difficultés administratives, les retards de financement, l'inertie, les mesquineries ou le désintéressement de certains, sont autant de motifs de découragement. Dire que malgré tout, autour de notre pédagogie SOURCE DE LOISIR SCIENTIFIQUE, il est possible de montrer des réalisations concrètes et suivies auprès de ses élèves et cela prouve qu'il faut oser essayer.

J.Cazenove

On trouvera plus loin :

- la liste des divers PAE effectués depuis la création du CLUB ASTRO M11
- le palmarès des diverses équipes qui se sont succédées.

ATELIER SCIENCE 95
 CLUB ASTRO M11-Lycée Diderot
 OBSERVATOIRE de NARBONNE

PALMARES 95

RENCONTRES P.A.E. 84
 Palais de la Découverte-Paris
 Ministère de la Recherche et de l'Industrie

1° RENCONTRES INTERNATIONALES
 SCIENCE TECHNIQUE JEUNESSE
 Toulouse-86

SCIENCE FETE 87
 Toulouse-Observatoire de Jolimont
 *PRIX C.N.R.S. - Demarche Scientifique
 Grand Prix du Public

EXPOSCIENCE INTERNATIONALE
 E.S.I 87-QUEBEC
 Université Laval Québec
 Travaux sur la Spectrométrie

EXPOSCIENCE REGIONALE
 EINSTEIN 88-Carcassonne
 *Grand Prix du Public
 *Prix de la Délégation Marocaine

2° RENCONTRES INTERNATIONALES
 MEDITERRANEENNES de
 L'ANIMATION SCIENTIFIQUE
 TECHNIQUE JEUNESSE 88
 RIMASTJ-Rabat (Maroc)
 *Sélection de la Délégation Marocaine

2° EXPOSCIENCE INTERNATIONALE
 E.S.I 89-Brest
 Travaux sur l'imagerie CCD
 Délégué A.N.S.I.J.

2° EXPOSCIENCE REGIONALE
 EINSTEIN 90-Carcassonne

3° EXPOSCIENCE INTERNATIONALE
 E.S.I 91-PRAGUE
 (Tchécoslovaquie)
 Travaux sur l'imagerie Satellitaire

1° RENCONTRES EUROPEENNES
 d'ASTRONOMIE AMATEUR
 *Prix Spéciale du Jury (Nîmes 91)

3° EXPOSCIENCE REGIONALE
 EINSTEIN-92-Carcassonne
 *1° Prix Qualité de l'Animation
 *1° Prix de la Valeur Scientifique

1° FESTIVAL DES EXPOSCIENCES 93
 Cité des Sciences et de l'Industrie

4° EXPOSCIENCE INTERNATIONALE
 E.S.I 93 TEXAS U.S.A
 Travaux sur l'imagerie et astronomie

2° OLYMPIADE de PHYSIQUE
 Grenoble-94-Technologie CCD

2° RENCONTRES EUROPEENNES
 d'ASTRONOMIE AMATEUR
 Nantes 94

FESTIVAL VIDEO CLIP 11
 1° Prix du Film scientifique
 2° Prix : Documentation

4° EXPOSCIENCE REGIONALE

3° OLYMPIADES de PHYSIQUE
 *1° PRIX - Intensificateur d'Images

OBSERVATOIRE de NARBONNE
 Club Astro M11 - Atelier Science

PAE 81/82:
 Création du Club Astro
 Achat d'une Lunette de 90mm et d'un
 Télescope de 115/900.
 Voyage à l'Observatoire de Nice,
 Semaine Astro à la MJC de Narbonne.

PAE 82/83
 Construction du Télescope de 318mm et de sa
 monture (FSE-MAC-ANVAR-J Meure)
 Construction de la coupole ANAP (Mairie de
 Narbonne-Narbonne)
 Voyage en Algérie-Bélarus

PAE 83/84:
 Construction de la coupole Polyester et de sa
 tour d'observation (FSE-MAC-ANVAR-Mairie
 de Narbonne-Narbonne)
 *** Rassemblement d'Astronomes Amateurs
 en Langueado-Roussillon.
 Mission SONATE (Pic du Midi)
 Laurier Rencontres PAE (Paris)

PAE 84/85:
 Construction du Radio-Télescope
 14MHz-432MHz (FSE-ANVAR-MAC-J.C.
 François)
 ** Rencontres Internationales Science
 Technique Jeunesse (Toulouse)
 Laurier Pessac pour la Découverte.

PAE 85/86:
 Mise au point d'une caméra CCD linéaire
 (THT801) (FSE-MAC-ANVAR-CH Buit)
 Exposition Mission Vigneronne (CNES-CNRS-
 Mairie de Narbonne)
 Animation Fondation Méditerranéenne
 Scientifique Arago (Estapel)
 Voyage Tunisie-Carthage

PAE 86/87:
 Construction d'un Spectromètre à réseau
 (FSE-MAC-ANVAR)
 Science Fête (Toulouse)
 2 for Laurier (CNRS-France)
 *Exposition Internationale ESI 87
 (Québec-Université de Laval)
 Semaine Astro à l'Observatoire.

PAE 87/88:
 Construction du Photomètre à photodiode
 (FSE-ANVAR-MAC)
 Exposition Regionale EINSTEIN
 2 for Laurier

*Rencontres Internationales Méditerranéennes
 (RIMASTJ-Rabat)

PAE 88/89:
 Expérimentation Pédagogique
 Images Satellitaires Médéous (D.C.15)
 *Exposition Internationale ESI 89
 (Brno-Délégation France-AMSTJ)

PAE 89/90:
 Images satellitaires-Carte de Numérisation
 (ANVAR-MAC-CP-FSE)
 C'est le Créateur de la Culture Scientifique et
 Technique (CEA-Saclay-M. Balon)
 Exposition Regionale EINSTEIN
 Colloque International Arhéna
 (Université ISTL-Ouluaque)

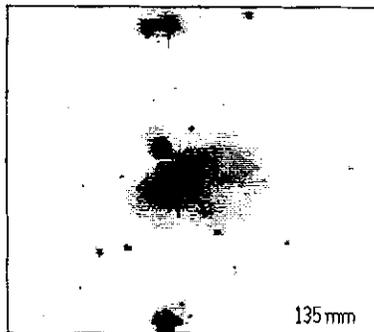
PAE 90/91:
 Construction de l'intensificateur d'images
 (Tube CX1360) (ANVAR-MAC-FSE)
 *Rencontres Européennes d'Astronomie
 (Nantes-Prix spécial J.72)
 *Exposition Internationale ESI 91 (Prague)

PAE 91/92:
 Construction du Plateau de 3.30m
 (Société INACO-Consell Régional LR-Mairie)
 Exposition Regionale EINSTEIN
 Fête de la Science avec G. Cohen Tannoudj

PAE 92/93:
 Radioactivité Atmosphérique
 *Exposition Internationale ESI 93 (Texas)
 Le livre en avant (Mairie de Narbonne-CEA de
 Saclay-P. BERGÉ de Caen)
 Festival des Expositions (CIM des Sciences)
 Fête de la Science (N. Andrieu-ISTL)

PAE 93/94:
 IMAGEFIRE CCD-Sarlat-Marcos
 2° Olympiades de Physique (Grenoble)
 Semaine Astro (Mairie de Narbonne-P. LENA)
 Expo - la physique en France des Prix Nobel
 Festival Vidéo Science (Deux 1° Prix)
 Fête de la Science
 Ville-CEA-CERN-Observatoire de Paris.

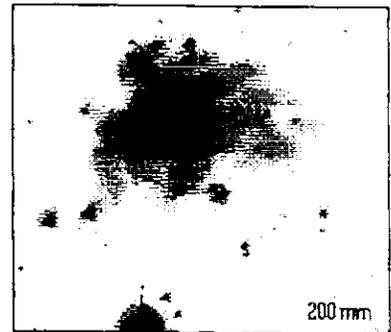
PAE 94/95:
 Radioactivité-Détecteurs de particules.
 (Commission-Maison des Lycéens)
 2° Olympiades de Physique (1° Prix)
 Expo: Les micelles Fests
 Ecole Normale Supérieure (Y. Cassin)
 Dossier MAPDEN sur les CCD
 Journées HEBICHAM sur les CCD dans
 l'enseignement des Sciences



135 mm

T: 30s + 40s

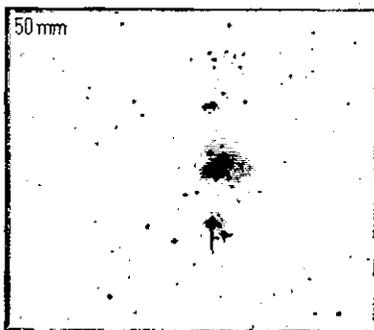
M42



T: 30s

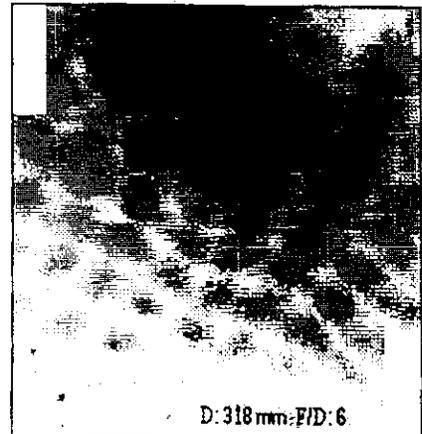
200 mm

CAMERA CCD LYNXX 192*165



50 mm

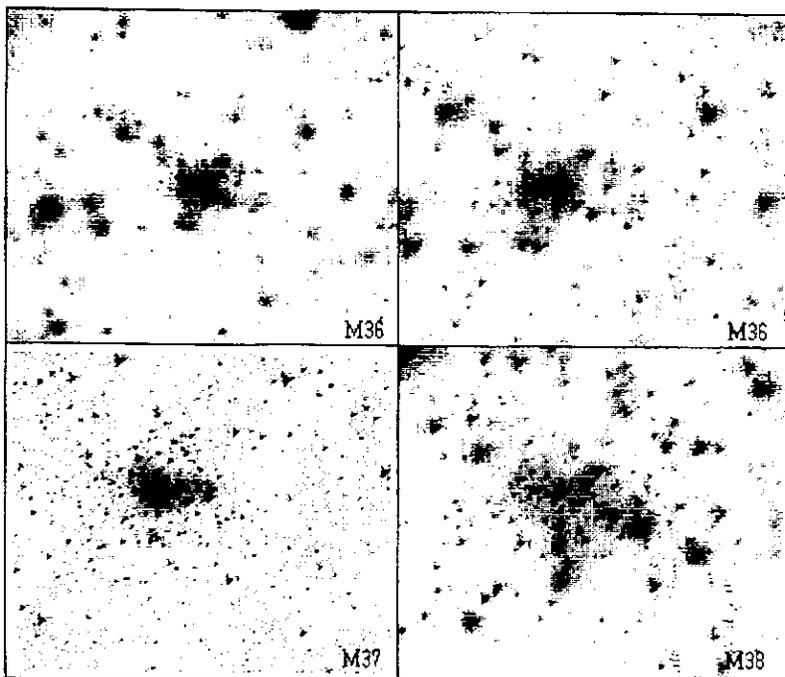
T: 30s



T: 20s

D: 318 mm-F/D: 6

OBSERVATOIRE DE NARBONNE

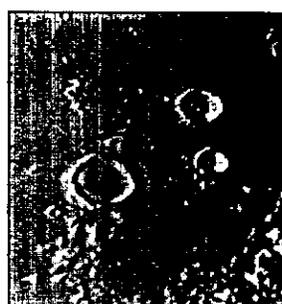
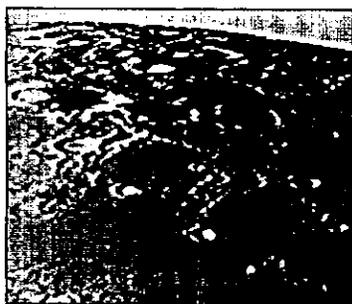


OBJECTIFS :

135 mm , 200 mm

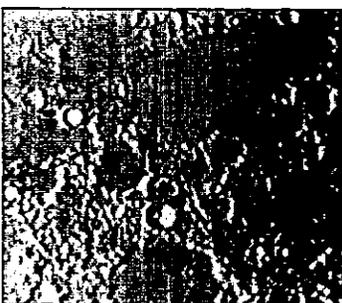
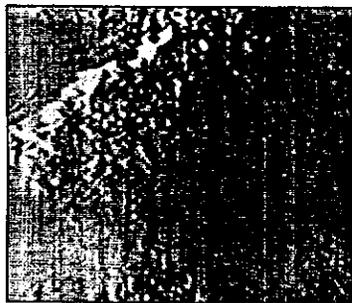
200 mm , 200 mm

LES AMAS DU COCHER
CAMERA CCD LYNXX 192*165



20/03/94-FOYER C8-LYNXX CCD-OBSERVATOIRE de NARBONNE (J.C)

1/Pole Nord 2/Platon-Alpes 3/Archimède 4/Appenins 5/Herchel 6/Ptolémée



Ø:HP-1:EPSON-2:HP4(64N)-3:HP4(256N)-4:PS-5:FICHER PS (Ø) : Ø
Ø:NEGATIF - 1:POSITIF (1) : Ø

Chronique du C.L.E.A. - Courrier des Lecteurs

DEUXIEME ANNONCE -

Vous n'avez pas oublié, l'Assemblée générale annuelle du CLEA aura lieu le dimanche 19 novembre 1995 à Strasbourg. L'organisation sera assurée par nos Amis du Planétarium.

Comme tous les ans, une circulaire-invitation sera envoyée à tous les membres cotisants du CLEA ; elle précisera le programme et les conditions d'inscription. Nous recommandons à tous les membres du CLEA qui le pourront de participer à cette assemblée en suivant exactement les recommandations que précisera la circulaire afin de faciliter au mieux la tâche de nos amis organisateurs.

ENFIN LA COMETE DU SIECLE ?

Selon la circulaire 6202 de l'UAI, une comète brillante pourrait bien venir illuminer le ciel de l'hiver 1996-97. Encore une "comète du siècle", pensera-t-on... en se remémorant les précédents célèbres. Cette fois les choses paraissent différentes. La comète Hale-Bopp (C/1995-01) présente apparemment beaucoup de caractères communs avec la fameuse comète C/1811 F1, celle du bon vin et qui impressionna tant Victor Hugo enfant. Les prévisions les plus optimistes annoncent un éclat global de l'ordre de $m = 0$ ou mieux. Sauf accident, elle devrait être aisément visible à l'oeil nu de mi-février 1997 à fin avril 1997. Quoi qu'il en soit, il est probable qu'on en reparlera beaucoup dans les medias. La comète Hale-Bopp offrira donc une excellente occasion de présenter un peu d'astronomie à nos élèves et pas seulement dans les classes de Physique ou de SVT. Par exemple, pourquoi les latinistes n'étudieraient-ils pas quelques lignes tirées de l'*Histoire Naturelle* de Pline ? Ou encore, nos apprentis-philosophes pourraient relire quelques pages des *Pensées sur la comète* de Bayle. Le thème est riche : à nous d'y réfléchir... tout en restant prudents.

Iacobus Rupellensis

Merci à Jacques Vialle de nous avoir transmis cette lettre.

LES SYMBOLES DES PLANETES

La question posée (cf CC n°70 p.40) par Gérald Bazin a commencé à intriguer certains de nos lecteurs. Nicoletta Lanciano (de Rome), très intéressée par cette question, relève que les symboles de planètes telluriennes comportent des cercles comme la Terre. Pour Mercure, il y a un petit ornement supplémentaire qui rappelle les ailes attachées aux chevilles du dieu Mercure dans ses représentations antiques. Pour Paul Perbost (de Nice), le symbole de Mercure rappelle le caducée repris par la symbolique médicale. Perbost trouve des explications pour les symboles de Jupiter et de Saturne dans *l'Histoire universelle des chiffres* par Ifrah ; pour Jupiter, ce serait une déformation du chiffre 4, et pour Saturne du chiffre 5. Pour Uranus, Neptune et Pluton, la signification des symboles est évidente. Restent beaucoup de questions ouvertes sur les raisons de ces choix...

UN TEMOIGNAGE FIABLE...

Dans son ouvrage *Le Dimanche de Bouvines, 27 juillet 1214*, l'historien Georges Duby cite tout au long le témoignage, considéré comme fiable en ce qui concerne cette fameuse bataille, écrit par Guillaume Le Breton. A la fin de ce précieux document, on peut lire les trois lignes suivantes :

Le 16 des Kalendes de mars suivant, il y eut une éclipse générale de lune qui commença au premier chant du coq et dura jusques après le lever du jour suivant.

Il se trouvera sûrement des lecteurs des CAHIERS CLAIRAUT qui retrouveront la trace de cette éclipse de lune du printemps 1215 mais aura-t-elle duré aussi longtemps ? Fiabilité du témoignage sur la bataille, soit, sur les éclipses, voire.

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

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 1995 :

Cotisation simple au CLEA pour 1995	30 F
Abonnement simple aux <i>Cahiers</i> n° 69 à 72	120 F
Abonnement aux <i>Cahiers</i> n°69 à 72 ET cotisation au CLEA pour 1995	150 F
Contribution de soutien au CLEA (par an)	50 F
Le numéro des <i>Cahiers</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° 68 (990 F - 1100 F)

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

C90. à C94. Collection 1990, 91, 92, 93 ou 94 (chaque 90 F - 100 F)

N-B. Comme pour toutes les publications le deuxième prix indiqué 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.

AVERTISSEMENT PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

N-B. Le stock de certains de ces fascicules est en voie d'épuisement ;
avant de passer commande, s'assurer que le numéro désiré est
encore disponible

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

PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

LS0. Catalogue des étoiles les plus brillantes, toutes les données disponibles au Centre
des Données Stellaires de l'Observatoire de Strasbourg
concernant 2000 étoiles visibles à l'oeil nu (75 F)

Commandes à adresser au service librairie, Planétarium de Strasbourg.

Directeur de la publication : Lucienne Gougenheim
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

Dépot légal : 1er trimestre 1979
Numéro d'inscription CPPAP 61660