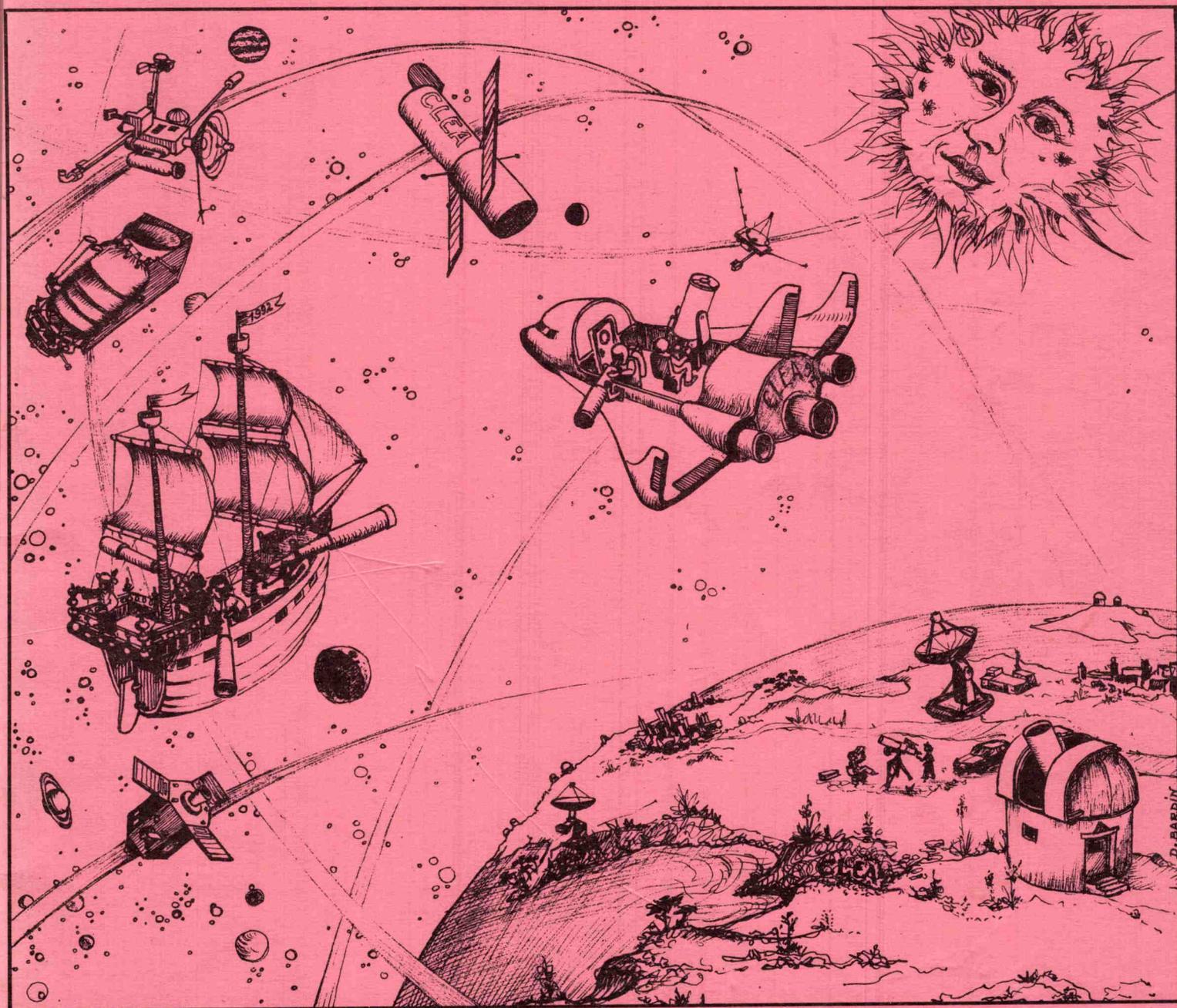


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 59 - AUTOMNE 1992

ISSN 0758-234 X

LE C.L.E.A. - COMITE DE LIAISON ENSEIGNANTS ET ASTRONOMES

Le C.L.E.A. , 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 public et dans les organismes de culture populaire. En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA intervient par l'organisation de stages et par ses diverses publications.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux, éventuellement en liaison avec les Missions Académiques de Formation ou tous organismes de formation des enseignants. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège, du lycée et de l'IUFM. On s'efforce d'y conjuguer information théorique indispensable et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et bon usage de ces matériels).

Aussi bien dans ses 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 page 3 et 4 de la couverture.

Bureau du CLEA pour 1992

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker
Evry Schatzman
Présidente : Lucienne Gouguenheim
Vice-Présidents : Agnès Acker
Marie-France Duval
Hubert Gié
Jean Ripert
Jacques Vialle
Catherine Vignon
Secrétaire-trésorier : 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 1992

	page
L'évolution stellaire.....	2
Pour une histoire de la Galaxie (suite)	16
Lectures pour la Marquise	20
Les problèmes du CLEA	28
Les nouveaux documents pédagogiques du CLEA	28
A l'observatoire du Pic des Fées	29
Astronomie à l'école primaire	31
Astrologie et recrutement	37
Les Potins de la Voie lactée	39
Chronique du CLEA	40

EDITORIAL

Le CLEA est toujours très attentif aux expériences pédagogiques, tant en France qu'à l'étranger. Notre collègue Christoffel Waelkens, de l'Université flammande de Louvain nous a fait le double plaisir de délivrer un cours sur l'évolution stellaire à l'Université d'été de 1990 et de le rédiger pour publication dans le compte rendu, maintenant disponible (voir page 28). Ce cours avait enthousiasmé les participants, et nous avons décidé de le publier, en deux épisodes, dans les cahiers : c'est une belle leçon de physique "avec les mains".

Notre collègue Roland Szostak, professeur à l'Université de Münster, nous propose une nouvelle série de diapositives, qu'il a réalisées pour le GRP-CLEA (voir page 28).

Nous souhaiterions recevoir davantage d'articles de nos lecteurs, en particulier concernant l'école primaire, où l'astronomie est un bon support pour l'enseignement expérimental. Les projets actuels de nouveaux programmes lui sont favorables (voir page 31) ; encore faudrait-il que les instituteurs soient aidés dans la réalisation d'un enseignement actif, fondé sur l'observation et l'expérimentation.

A sa façon, l'observatoire de Hyères contribue à cette forme d'enseignement, auprès des classes qu'il reçoit (page 29). Cet exemple n'est certainement pas le seul ; n'hésitez pas à nous en communiquer d'autres, nous serons heureux de les faire partager à tous les lecteurs des Cahiers.

N'oubliez pas de retenir la date du dimanche 22 novembre : l'Assemblée générale du CLEA se déroulera à l'Université Paris XI, centre d'Orsay, à partir de 10 heures. Ceux d'entre vous qui peuvent nous aider le samedi pour préparer les salles peuvent se faire connaître auprès du secrétariat. Ils sont chaudement remerciés à l'avance.

Bonne rentrée à tous.

La rédaction

L' EVOLUTION STELLAIRE

(texte d'un cours présenté à l'université d'été d'astronomie à Gap, 19-28 août 1990)

C. Waelkens

Astronomisch Instituut Katholieke Universiteit Leuven

Celestijnenlaan 200 B

B-3001 Leuven-Heverlee (Belgique)

Pendant le vingtième siècle, l'astronomie est de plus en plus devenue astrophysique. Les astronomes se sont rendu compte que la même physique que nous avons appris à connaître en laboratoire, peut nous guider à comprendre ce qui se passe dans l'univers qui nous entoure. Ceci est une véritable révolution. D'une vue du monde où les péripéties terrestres se passent sous une voûte céleste apparemment immuable, nous sommes arrivés à une vue d'ensemble où l'évolution sur Terre fait partie de l'évolution de tout le cosmos.

Si nos connaissances de l'évolution de l'univers dans sa totalité et des grandes structures (galaxies, amas de galaxies) qui le composent sont parfois encore assez rudimentaires, il semble que nous sommes arrivés déjà fort loin dans notre compréhension de la structure et de l'évolution des étoiles. Ceci est dû en grande partie au fait que les moyens observationnels qui sont à notre disposition nous permettent d'étudier en détail l'information — sous forme de rayonnement électromagnétique — que les étoiles nous font parvenir. Nous pouvons observer l'évolution stellaire près de chez nous, à l'intérieur de notre propre galaxie. Sans doute les grands télescopes actuellement en construction aideront-ils à augmenter de façon significative nos connaissances sur les lointaines galaxies et sur les profondeurs, dans l'espace et dans le temps, de notre univers tout entier.

Dans cet article, nous nous proposons de présenter l'état de nos connaissances sur l'évolution stellaire, à partir d'une part d'observations d'étoiles et d'autre part des acquis de la physique contemporaine.

Qu'est-ce qu'une étoile?

Le Soleil et la Terre sont des corps à symétrie sphérique. Ces corps célestes doivent cette structure à la gravitation qu'elles exercent sur elles-mêmes. En effet, la sphère est la surface d'équilibre sur laquelle la gravité est la même partout. La question se pose alors pourquoi ces corps autogravitants ne s'effondrent pas sur elles-mêmes. La réponse est que la force de gravité est compensée par une force vers l'extérieur, sous la forme d'une décroissance ("gradient") de la pression du centre à la surface.

La pression à l'intérieur d'une planète est reliée à la rigidité des métaux et des rocs (ou des fluides) qui la composent: la structure métallique du noyau de la Terre est assez forte pour soutenir les couches supérieures. Mais si la Terre était dix fois plus grande pour une même densité, alors sa masse et donc sa gravité serait mille fois supérieure, tandis que la force de pression, qui est proportionnelle à la surface n'augmenterait que d'un facteur cent. On imagine donc aisément que, pour un mécanisme de pression donné, il existe une masse au-delà de laquelle l'effondrement gravitationnel ne peut plus être évité. La masse limite d'une planète est de l'ordre de quelques milliers de fois la masse de la Terre. Dans des corps plus massifs la densité et la température centrales deviennent telles que la matière n'existe qu'à l'état gazeux. Ceci est donc le cas pour les étoiles.

Le gaz qui compose une étoile peut très bien être considéré comme un gaz parfait, pour lequel la pression est proportionnelle à la température. Pour que la gravité soit vaincue, il faut que la pression soit la plus grande à l'intérieur et donc que la température centrale soit élevée. C'est ce qui arrive à un gaz s'effondrant sur lui-même: la chaleur produite ainsi contribue à ralentir l'effondrement, mais dans la mesure où une partie est perdue en rayonnement, elle ne peut pas arrêter la contraction de l'étoile. L'équilibre sera enfin (mais pas définitivement, comme nous allons voir) trouvé au moment où la température centrale est assez élevée pour qu'une autre source d'énergie devient disponible, l'énergie de fusion nucléaire.

Nous pouvons donc définir une étoile comme *un système autogravitant*, qui est soutenu par *un gradient de pression*, qui résulte d'*un gradient de température* causé par *une source d'énergie nucléaire à l'intérieur*. Pour le mathématicien, c'est un système de plusieurs équations différentielles couplées, et l'évolution stellaire est l'intégration (numérique) dans le temps de ce système...; nous essayerons de comprendre la physique qui guide cette évolution.

La formation stellaire

Une chose est de dire que la physique nous aide à comprendre quelle est la structure des étoiles, une autre est d'expliquer pourquoi une grande partie de la masse dans l'univers semble être répartie dans des étoiles. Il semble que ce n'est pas une simple coïncidence.

Les grandes structures ne sont pas nées avec l'univers, mais se sont formées plus tard, quand l'univers était devenu assez froid pour que des sous-structures puissent se développer. Dans l'univers chaud des premières centaines de milliers d'années après le "Big Bang", la pression était assez importante pour empêcher l'effondrement gravitationnel: aussi longtemps que la température de l'univers était assez élevée pour que la matière restât ionisée, l'interaction du rayonnement avec la matière empêchait des structures de se développer, mais une fois la matière devenue neutre, celle-ci devenait essentiellement transparente et le rayonnement ne pouvait plus rien pour contrer l'effondrement gravitationnel de certaines parties de l'univers plus denses que d'autres.

On ne sait pas très bien encore comment les premières grandes structures se sont formées, mais il est certain qu'elles étaient beaucoup plus grandes que les étoiles. En effet, dans des circonstances de pression et de densité données, seules les structures ayant une étendue et donc une masse au-delà d'une certaine limite, nommée *masse de Jeans*, peuvent se développer. La raison est à nouveau que la force de gravité totale est proportionnelle au cube de la dimension et la force de pression totale seulement au carré. On peut aussi comprendre que cette masse de Jeans sera d'autant plus grande que la pression est grande et que la densité est faible. La relation de proportionnalité exacte entre la masse de Jeans M_J , la pression P et la densité ρ est

$$M_J \propto P^{3/2} \rho^{-2}.$$

Une fois l'effondrement d'un nuage amorcé, la densité augmente, et on pourrait s'attendre à ce que la pression fasse de même, puisque la température devrait croître. En réalité, au début la pression augmente peu: la densité du milieu est tellement faible que l'énergie thermique créée par la contraction est rayonnée de façon très efficace. Pendant l'effondrement la masse de Jeans diminue donc, et des fluctuations plus petites, qui jusqu'alors ne pouvaient pas se développer, deviennent à

leur tour gravitationnellement instables. Ce qui plus est, l'effondrement de ces sous-structures se passe plus vite que celle de la structure-mère, à cause de leurs dimensions plus restreintes. Avec l'effondrement, la masse de Jeans diminue encore et le processus se répète. C'est ce qu'on appelle la "fragmentation hiérarchique" du nuage.

La fragmentation finit par s'arrêter quand le milieu est devenu tellement dense qu'il n'est plus transparent pour le rayonnement thermique créée par la contraction. Les fragments formés alors pourront amorcer la contraction plus lente qui les conduira à devenir des étoiles. Il se trouve que les masses "proto-stellaires" qu'on peut estimer à partir de la théorie de la fragmentation hiérarchique sont précisément de l'ordre de grandeur des masses stellaires observées. Nous pouvons donc conclure qu'il n'est pas anormal que les étoiles existent...

Ce bref aperçu pourrait donner l'impression que la formation stellaire ne s'est produite qu'au début de l'histoire de notre galaxie. Il n'en est rien, et nous pouvons observer à ce jour de grands nuages moléculaires dans lesquels de nouvelles étoiles sont formées.

Les réactions nucléaires

Rappelons brièvement la structure d'un atome. Il est formé par un noyau, constitué de protons (charge électrique positive) et de neutrons (neutres), et d'un "nuage" d'électrons (charge électrique négative). Comme il y a autant de protons que d'électrons, la charge totale est nulle. Dans des conditions de haute énergie un atome peut perdre des électrons; il est alors ionisé.

La force électrique entre les protons est répulsive. C'est l'interaction forte nucléaire qui maintient les protons ensemble dans un noyau. Toutefois, un noyau formé seulement de protons ne peut pas exister: il faut des neutrons, qui connaissent aussi l'attraction nucléaire mais qui, étant électriquement neutres, ne participent pas à la répulsion électrostatique, pour "coller" le noyau. L'interaction nucléaire ne porte que sur de très courtes distances, tandis que l'interaction électrostatique est ressentie plus loin. Plus un noyau est grand, plus il devient difficile d'arranger les protons près l'un de l'autre: la répulsion électrostatique risque alors de l'emporter et il faut de plus en plus en plus de neutrons pour coller le noyau. Les noyaux d'éléments lourds contiennent donc plus de neutrons que de protons.

La masse totale d'un noyau n'est pas égale à la somme des masses de ses constituants. En effet, l'énergie qui lie les nucléons (protons + neutrons) peut être considérée comme une masse. On constate par exemple que la masse d'un noyau d'hélium est plus petite que la somme des masses des protons et neutrons qui le composent. Si on arrive à fusionner deux protons et deux neutrons en un noyau d'hélium, une certaine masse Δm est libérée; cette masse correspond à une énergie $\Delta E = \Delta m c^2$, selon la célèbre formule d'Einstein.

Sur la figure 1 on voit la masse par nucléon d'un atome (la masse totale divisée par le nombre de masse A) en fonction du nombre de masse. On constate que cette masse par nucléons croît pour des éléments plus légers que le fer ($A = 56$) et remonte au-delà. En fusionnant des éléments légers, on obtient donc de l'énergie: c'est la fusion nucléaire. Pour des éléments plus lourds, il faut casser les atomes pour produire de l'énergie: c'est la fission nucléaire. Sur Terre il est très difficile d'obtenir une production d'énergie avec la fusion. En effet, il faut de très hautes énergies pour que deux noyaux rentrent en collision, puisque d'abord il faut que l'atome soit ionisé et ensuite que la force de répulsion électrostatique soit vaincue. La source d'énergie dans nos centrales nucléaires est la fission: il est plus facile pour l'homme de casser que de construire...

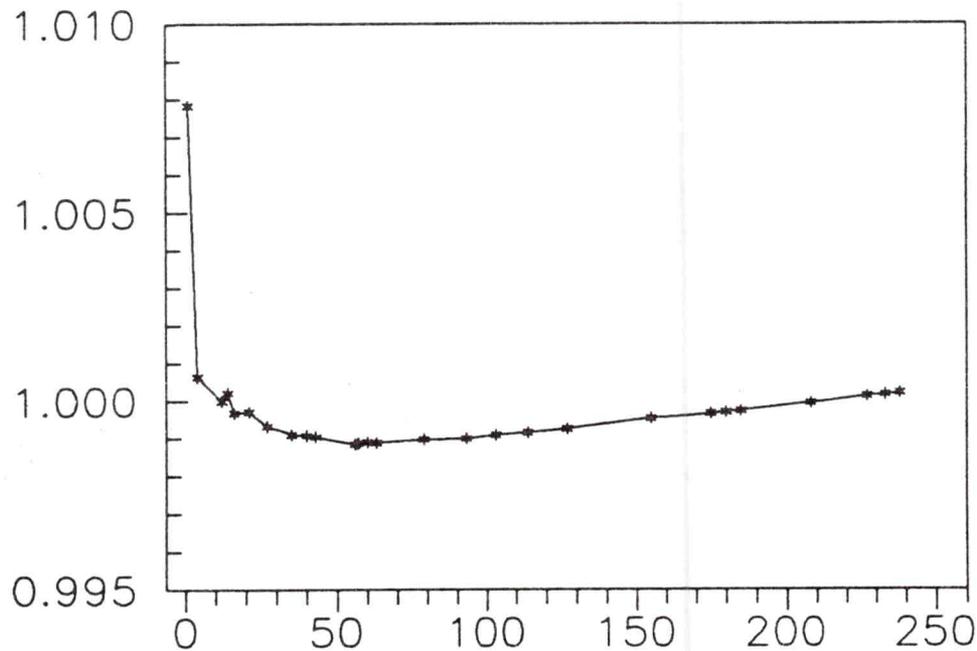
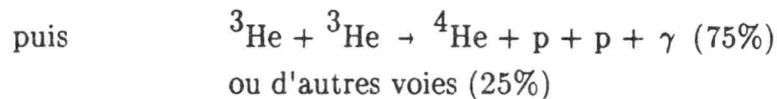


Figure 1: Masse par nucléon d'un atome en fonction du nombre de masse A

La fusion d'hydrogène dans les étoiles

Revenons à notre nuage protostellaire qui se contracte. A un certain moment la température centrale est assez élevée (de l'ordre de 10 millions de degrés) pour qu'une première réaction de fusion peut opérer. Celle-ci met en jeu les noyaux pour lesquels la force répulsive (proportionnelle au produit des charges) est la plus petite. C'est donc la fusion d'hydrogène en hélium. Bien entendu, il est très improbable que deux protons et deux neutrons se rencontrent d'un coup, et la fusion se fait selon une chaîne de réactions. Un exemple est la chaîne "proton-proton":



Deux protons vont donc d'abord former un noyau de deutérium (un proton et un neutron), le "diproton" ou "hélium-deux" (${}^2\text{He}$) n'existant pas; dans cette réaction un électron positif (positron) et un neutrino seront aussi produits. Puis sera formé de l'hélium-3 et enfin l'hélium-4. On voit que la chaîne utilise six protons pour créer un noyau d'hélium et deux protons. La plus grande partie de l'énergie libérée dans la chaîne le sera sous forme de rayonnement, qu'on peut considérer comme de particules dits "photons", symbolisés par γ .

On voit sur la figure 1 que la pente de la courbe est la plus grande pour les petites masses. Cela implique que le bilan énergétique de la fusion d'hydrogène est très bon: environ 0.7% de la masse est convertie en énergie. La phase de combustion d'hydrogène d'une étoile n'est donc pas seulement la première dans sa vie, c'est aussi celle qui produit le plus d'énergie. Une étoile peut donc pendant relativement longtemps compenser sa gravitation par la pression qui est produite par la fusion d'hydrogène dans son intérieur. Cette phase tranquille dans l'évolution d'une étoile est appelée le stade de la séquence principale.

Le diagramme Hertzsprung–Russell

Les astronomes avaient introduit la notion d'une séquence principale bien avant qu'ils connaissent la source de l'énergie stellaire. Au début du siècle Hertzsprung et Russell avaient constitué un diagramme sur lequel ils montraient la magnitude absolue d'une étoile (c'est-à-dire un paramètre qui décrit sa luminosité totale, l'énergie rayonnée par unité de temps) en fonction du type spectral (un paramètre qui décrit la température des couches extérieures: une étoile chaude est bleue, une étoile froide est rouge). Ce diagramme est montré sur la figure 2.

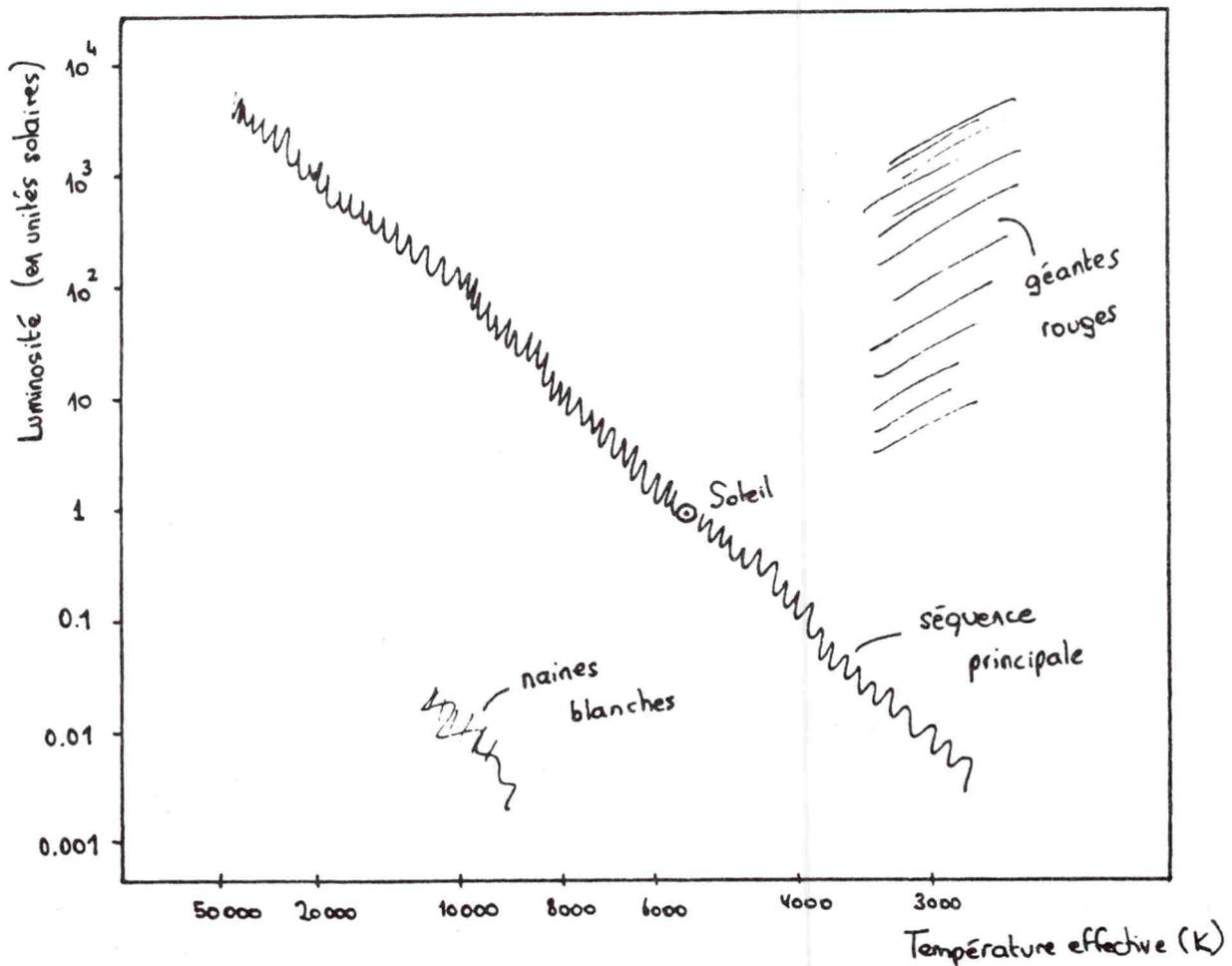


Figure 2: Le diagramme Hertzsprung–Russell

On voit sur la figure que les étoiles ne sont pas distribuées de façon aléatoire dans ce diagramme. La plupart des étoiles se trouvent en effet sur la séquence principale, qui s'étend des étoiles lumineuses et chaudes vers les étoiles faibles et froides. Mais on remarque aussi qu'il existe d'autres étoiles. Il y en a d'abord qui sont lumineuses et froides; puisque la brillance par unité de surface croît (fortement) avec la température, il faut que ces étoiles soient très grandes pour être aussi brillantes: on les appelle donc des géantes rouges. On observe aussi des objets assez chauds mais intrinsèquement faibles: ce sont les naines blanches.

En ayant identifié la séquence principale avec la phase de combustion d'hydrogène, nous pouvons expliquer pourquoi la plupart des étoiles s'y trouvent. Comme nous l'avons vu, cette phase de production d'énergie est celle qui dure le plus longtemps. Mais il y a aussi le fait que l'univers est encore assez jeune en termes de temps caractéristiques de l'évolution stellaire. On peut s'imaginer que dans un très lointain avenir toutes les étoiles auront quitté la séquence principale, mais qu'il n'y aura plus d'observateur pour le raconter...

Regardons de plus près la séquence principale. Nous voyons que c'est vraiment une séquence et pas un point. En plus, il y a une très grande différence de luminosité entre une étoile froide et une étoile chaude: en augmentant la température d'un facteur dix, on augmente la luminosité de six ordres de grandeur! C'est que toutes les étoiles n'ont pas la même masse, et que la production d'énergie dépend très critiquement de la masse. Si la masse est plus grande, la pression qui compense la gravitation doit l'être aussi, et donc aussi la température centrale. Or, il se trouve que la production d'énergie nucléaire augmente très vite avec la température. La luminosité de l'étoile croît avec la masse élevée à un exposant de l'ordre de 3 à 4!

Un corrélaire intéressant de cette relation masse—luminosité est que les étoiles de grande masse évoluent beaucoup plus vite que celles de petite masse, le combustible disponible étant proportionnel à la masse. Pour une étoile comme le Soleil la séquence principale dure environ 10 milliards d'années, mais pour une étoile dix fois plus massive, cela se termine déjà après 20 millions d'années. Ne nous plaignons donc pas que notre Soleil est une étoile plutôt modeste. Elle est assez grande pour produire suffisamment d'énergie pour nous éclairer et nous chauffer et assez économique avec son combustible pour que la Vie sur Terre ait eu le temps de se développer.

Evolution d'une étoile de faible masse

Les étoiles n'ont pas la vie éternelle, puisque leurs réservoirs d'énergie sont limités, et une fois la séquence principale terminée les problèmes de vieillesse vont s'annoncer. Pour décrire l'évolution ultérieure des étoiles il est utile de faire une distinction entre étoiles de "faible" et de "grande" masse; nous préciserons plus loin où se situe la limite. Considérons d'abord les étoiles de faible masse, dont le Soleil fait partie.

Déjà pendant la séquence principale, la luminosité et la température ne restent pas tout à fait constantes. Les réactions nucléaires se produisent de plus en plus loin du centre, où plus de combustible est disponible et cela conduit à une augmentation lente de la température et de la luminosité: dans le diagramme HR sur la figure 3, l'étoile évolue du point 1 au point 2. Il est d'ailleurs remarquable que la biosphère terrestre s'est bien adaptée à cette situation changeante: si le Soleil était maintenant aussi froid qu'il ne l'a été il y a 4 milliards d'années, les océans gèleraient et la Vie ne serait plus possible. Sans doute l'effet de serre de notre atmosphère était-il plus important par le passé, et s'est-il adapté doucement.

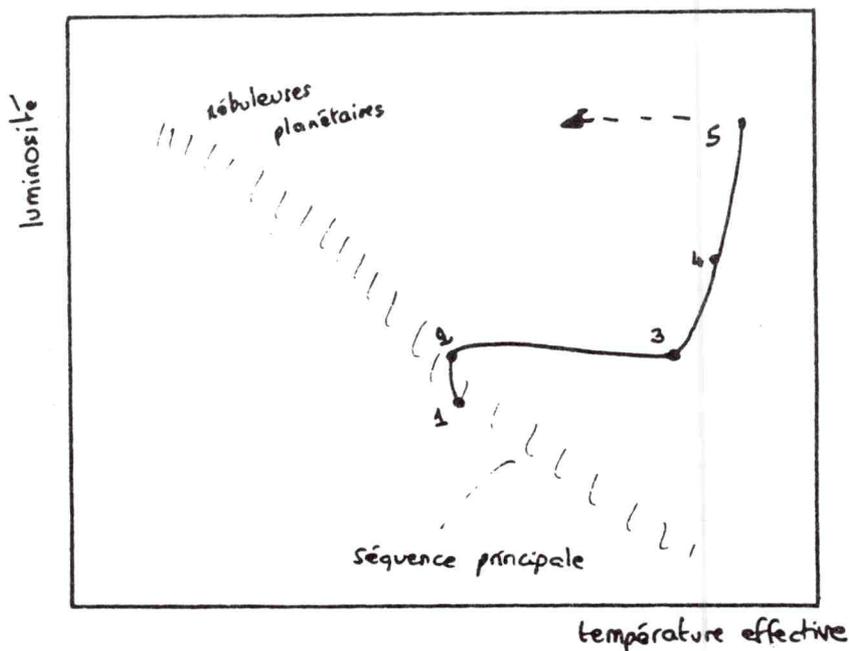


Figure 3: Etapes dans l'évolution d'une étoile de faible masse

Les problèmes sérieux commencent quand tout l'hydrogène dans le noyau stellaire est consommé. Alors une nouvelle phase de contraction y commence, qui conduit à une augmentation de la température dans les couches internes telle que finalement la combustion d'hydrogène peut commencer dans une coquille autour du noyau. Alors l'étoile aura du mal à trouver sa structure d'équilibre. Pour une raison (ou une combinaison de raisons) qui n'est pas tout à fait claire, les couches extérieures commencent à gonfler: l'étoile grossit considérablement à luminosité à peu près constante et finit par trouver un nouvel équilibre comme une géante rouge (le point 3 sur la figure). C'est un phénomène assez étonnant: les observations nous prouvent clairement que l'évolution vers le stade de géante rouge opère, et l'intégration numérique des équations qui gouvernent la structure stellaire reproduit bien cette évolution, et pourtant il n'est pas possible d'en nommer la cause avec exactitude. Sans doute s'agit-il d'une combinaison subtile de plusieurs effets, mais l'importance relative de ces effets reste matière à discussion entre les spécialistes.

Une fois l'étoile arrivée sur la séquence des géantes rouges, la luminosité croît lentement au fur et à mesure que la coquille où se produisent les réactions nucléaires grandit en masse. Il y a alors un contraste de densité de plus en plus grand entre l'intérieur et les couches extérieures (l'enveloppe) de l'étoile. Le noyau, essentiellement formé d'hélium, et la coquille occupent un volume très petit et l'enveloppe est très diluée. Le Soleil devenu géante rouge, son enveloppe finira par englober l'orbite de Mercure.

Au fur et à mesure que le noyau d'hélium contracte, il se réchauffe, pour finalement atteindre le moment où la combustion de l'hélium peut s'amorcer et qu'une nouvelle source d'énergie devient donc opérationnelle. L'étoile est alors arrivée au point 4 de la figure 3. La première réaction est la réaction



Il se trouve que le béryllium-8 n'est pas un élément stable. Pour que la fusion d'hélium soit efficace, il faut que pendant la très courte durée de vie de cet atome de béryllium une nouvelle réaction avec un atome d'hélium se produise, pour enfin produire l'élément stable qu'est le carbone-12; après, ce carbone pourra éventuellement, avec un autre atome d'hélium, former de l'oxygène-16.

On a pendant un temps douté si cette séquence de réactions nucléaires puisse opérer, parce qu'il apparaissait que la durée de vie du béryllium était beaucoup trop petite pour que la fusion de carbone soit probable. Or, et ce sur suggestion d'un astronome, on a trouvé en laboratoire qu'un noyau de carbone possède un état excité tel que la fusion de carbone est en réalité beaucoup plus rapide qu'on croyait. A partir de l'idée d'un astronome que la fusion de carbone doit pouvoir se faire dans les étoiles, on a donc pu anticiper une découverte en physique nucléaire!

Pour bien comprendre la physique du noyau très dense d'une géante rouge il nous faut introduire un nouveau concept, celui de la *dégénérescence quantique*. La mécanique quantique nous apprend qu'une particule comme un électron ne peut pas avoir n'importe quelle énergie dans un système donné: elle doit occuper un état bien défini. C'est un peu comme dans un auditoire où des gens civilisés ne s'installent pas n'importe où, mais seulement là où il y a une chaise. Le "principe de Pauli" nous apprend que deux électrons différents ne peuvent pas occuper les mêmes états. Quand il y a beaucoup de particules dans un volume restreint, il se peut donc que tous les états peu énergétiques sont occupés et que forcément certaines particules atteignent de hautes énergies. La dégénérescence produit ainsi une certaine pression: on ne rentre pas facilement dans un auditoire où toutes les chaises sont prises...

Un diagramme très utile est celui montré sur la figure 4. Il montre la relation entre la pression et la température au centre d'une étoile pour plusieurs tracés évolutifs correspondant à des masses stellaires différentes. On voit aussi la ligne de démarcation entre les situations où le milieu est dégénéré ou pas. A température constante, la dégénérescence intervient au-delà d'une certaine densité critique, ce qui s'explique bien avec ce que nous avons énoncé plus haut. Aussi, à densité constante, la dégénérescence intervient en-dessous d'une certaine température: en effet, à température plus basse, il y a moins d'états énergétiques disponibles.

On remarque sur la figure 4 que le gaz est non-dégénéré pendant l'évolution sur la séquence principale d'une étoile et que cette situation perdure pour les étoiles plus massives que huit masses solaires. Par contre, les étoiles moins massives passent par un stade de dégénérescence en leur centre. Cette différence a des conséquences très importantes, assez importantes pour faire de 8 masses solaires la limite entre "étoiles de faible masse" et "étoiles massives".

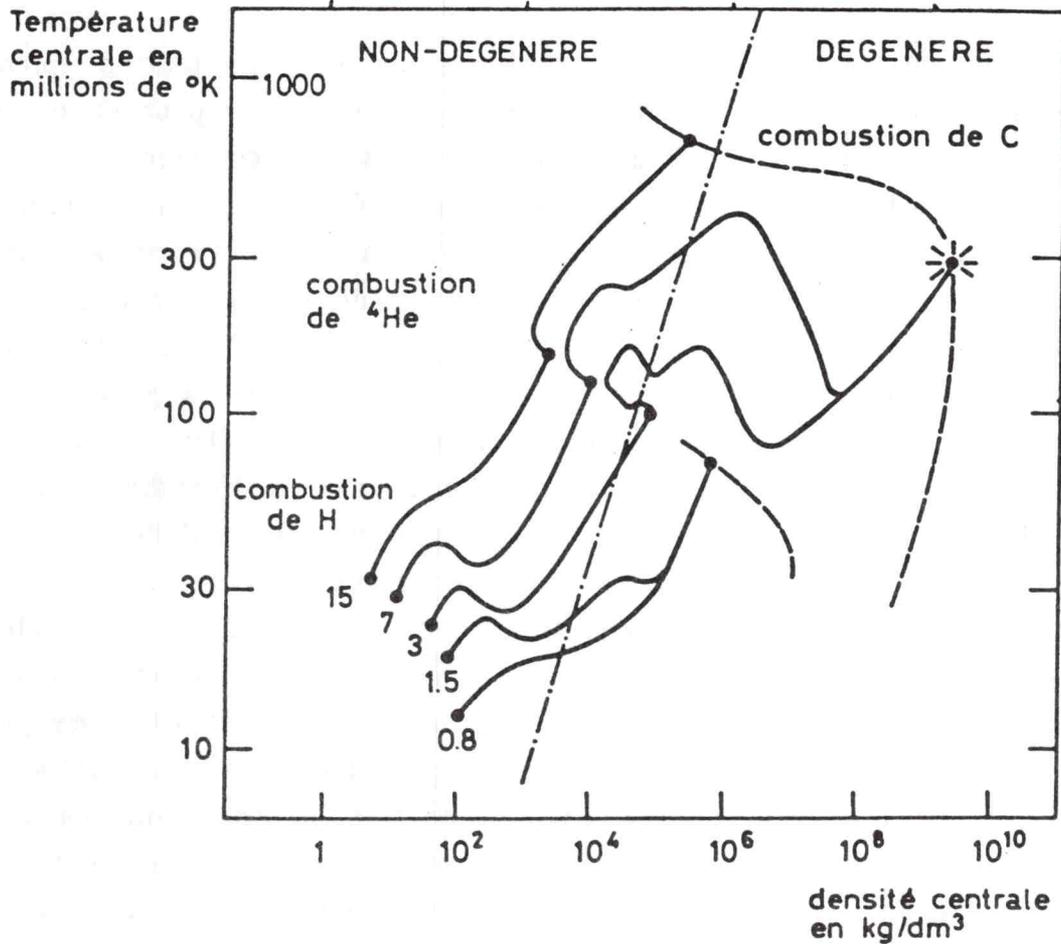


Figure 4: La relation entre la température et la densité centrale pendant l'évolution d'étoiles de masses différentes

La dégénérescence du gaz d'électrons est importante pour deux raisons. D'une part, elle produit une pression, qui contribue à soutenir l'étoile contre sa gravité. En fait, en extrapolant un peu sur la figure 4, on voit que pour des masses plus petites qu'environ 0.08 masses solaires, la pression électronique suffit déjà pour soutenir un objet autogravitant avant que la température centrale soit aussi importante que des réactions nucléaires soient amorcés. Puisque l'objet aura ainsi résolu son problème de compenser la gravitation, il n'aura même pas besoin de produire de l'énergie nucléaire et donc ne deviendra jamais une étoile. On appelle ce genre d'objets, qui sont à cheval entre les étoiles et les planètes, mais qui restent hypothétiques, car pas encore observés avec certitude, des "naines brunes".

Revenons à notre définition, qui disait que tout ce qu'une étoile entreprend est destiné à compenser son autogravitation. De ce point de vue, on pourrait se dire que toute la séquence principale est du temps perdu, puisque la dégénérescence offre un équilibre tout à fait stable et sans dépense énergétique! C'est donc grâce au fait que pour des masses assez importantes l'évolution vers la dégénérescence passe par des températures où les réactions nucléaires interviennent, que nous pouvons exister! Toutefois, comme les autres mécanismes de pression, la pression électronique d'un gaz dégénéré n'a pas réponse à tout et n'arrive à contrecarrer la gravité qu'aussi longtemps qu'une certaine masse critique n'est pas dépassée. Dans ce cas-ci, cette masse-limite est de l'ordre de 1.4 masses solaires, la "masse de Chandrasekhar".

Le deuxième aspect important de la dégénérescence du milieu stellaire est d'une toute autre nature. Jusqu'ici, nous ne nous sommes pas encore posé la question comment les réactions nucléaires peuvent se passer tranquillement et ne s'emballent pas tel que l'étoile devient une gigantesque bombe. Sur la séquence principale, la raison pourquoi les réactions nucléaires sont stables, est que le gaz est un gaz parfait. Si le taux de réaction augmentait, la température suivrait et avec elle la pression, qui ferait se dilater la zone où se passent les réactions; ainsi, la densité diminuerait, et le taux de réactions tomberait à nouveau. Des réactions nucléaires dans un gaz parfait sont donc stables. Il n'en est rien, par contre, en milieu dégénéré: la pression n'y dépend pas de la température et une augmentation de celle-ci ne conduit pas à une expansion du gaz dégénéré; à température plus élevée et même densité, le taux de réactions nucléaires augmente, faisant encore monter la température...

Ainsi, si l'hélium est allumé en milieu dégénéré, les réactions s'emballent (on appelle cela le "flash d'hélium"). Pourtant, l'étoile arrive à se sortir de ce passage difficile sans grand dommage. En effet, comme on peut voir sur la figure 4, avec la croissance de la température finalement la dégénérescence est levée, le gaz redevient un gaz parfait, et la stabilité est assurée de nouveau. Mais si d'aventure le noyau carbone-oxygène, qui est le produit de la combustion d'hélium, devrait être allumé en milieu dégénéré, cela tournerait mal: on calcule que cette "détonation du carbone" conduirait à une catastrophe qui ferait éclater l'étoile.

Deux menaces guettent donc notre étoile. Comment survivra-t-elle à l'implosion gravitationnelle une fois que la masse de son noyau dépasse la limite de Chandrasekhar? Pourra-t-elle éviter la destruction totale par détonation de carbone?

A la fin de l'évolution d'une géante rouge, un autre phénomène important intervient: la perte de masse. La gravité à l'extérieur de l'enveloppe ténue d'une géante rouge est très faible et des phénomènes turbulents dans l'enveloppe peuvent suffire pour que l'étoile commence à perdre de la masse. Une fois la perte de masse amorcée, la gravité diminue et le processus s'accélère. Ce qui se passe exactement alors n'est pas parfaitement compris. On pense que les pulsations que les étoiles subissent alors contribuent à la perte de masse, ainsi que la formation de molécules et de poussières dans les atmosphères froides de ces étoiles. Toujours est-il qu'apparemment les géantes rouges perdent des masses considérables, au point que les catastrophes cités plus haut n'interviennent finalement pas.

Pendant la phase de combustion d'hélium, des étoiles bien plus massives que le Soleil ont un noyau dont la masse est inférieure à la limite de Chandrasekhar. Pour une étoile d'une masse solaire, le noyau stellaire où se passe la combustion d'hélium contient environ 55% de la masse de l'étoile; une étoile de sept masses solaires a un noyau d'environ 1.2 masses solaires. Or les observations suggèrent maintenant que les étoiles de masse initiale jusqu'à huit masses solaires perdent toute leur enveloppe pendant la phase de combustion d'hélium en leur centre. Ne survit après alors qu'un reste stellaire ayant une masse inférieure à la masse de Chandrasekhar. La pression électronique seule suffira pour soutenir l'étoile et la température ne montera jamais au niveau nécessaire pour allumer le carbone.

Une fois l'étoile débarrassée du poids de son enveloppe, la production d'énergie nucléaire ne dure plus longtemps. D'abord l'éjection de l'enveloppe nous dévoile le noyau qui pendant quelques milliers d'années est visible comme un petit objet très chaud; son rayonnement ultraviolet est alors tellement intense que l'enveloppe fraîchement éjectée est ionisée et est visible comme une belle nébuleuse (on appelle ce genre de nébuleuses, un peu maladroitement, des "nébuleuses planétaires"). Puis l'objet, qui, ne produisant plus d'énergie, ne satisfait plus à notre définition d'"étoile", se refroidit progressivement pour devenir une naine blanche (sa taille est alors de l'ordre de celle de la Terre) et doucement disparaître du firmament.

POUR UNE HISTOIRE DE LA GALAXIE (2)

Le défaut d'une suite d'articles, en feuilleton, sur un vaste sujet est, le plus souvent, un manque d'unité de ton d'un épisode au suivant. Ou bien une documentation est apparue plus riche sur une période que sur l'autre, ou bien l'auteur n'a pas été aussi courageux dans ses recherches, aussi scrupuleux dans ses analyses d'un trimestre au suivant. Mais c'est aussi un avantage du feuilleton ; arrivant après trois mois, vue la cadence de notre publication, le deuxième épisode peut corriger certaines imperfections du premier. Ou bien, de l'un à l'autre, une lecture imprévue a enrichi la documentation.

RETOUR SUR LA LUNETTE

C'est ce qui vient d'advenir avec la prochaine publication d'une nouvelle traduction du Sidereus Nuncius qui va paraître en septembre 1992 sous le titre "Le Messager des Étoiles". Ayant eu la faveur de lire l'ouvrage sur épreuves, j'ai tiré grand profit de la remarquable présentation par le traducteur Fernand Hallyn. Il insiste justement sur la portée de l'initiative de Galilée : avec la lunette, observer le ciel et avoir confiance dans les images obtenues.

C'était d'autant plus audacieux que, pour les contemporains, la vision à l'oeil nu était considérée comme une norme par rapport à laquelle la vision à la lunette avait tous les défauts ou tous les caractères d'un artefact. Ce qu'exprimait Vasco Ronchi dans l'introduction au livre de Della Porta "De Telescopio" : "Le but de la vue est de connaître la vérité. A travers les lentilles de verre, on voit des figures plus grandes ou plus petites que celles qu'on voit à l'oeil nu, plus voisines ou plus lointaines, quelquefois renversées, irisées ou déformées. Elles trompent et ne doivent pas être utilisées." Une réaction qui ne devrait pas nous surprendre si nous pensons à toutes celles qui ont accueilli les grandes innovations. Il faut le temps de s'y habituer ou, ce qui revient au même dans le cas de la lunette, le temps d'apprendre à interpréter les nouvelles images.

L'objection des images irisées ou déformées devait être prise au sérieux. Dans la lunette de Galilée, à oculaire divergent, l'image n'est pas renversée mais rien ne corrige les aberrations chromatiques. Dès 1611, Dans sa Dioptrique, Kepler montrait qu'on pouvait remplacer avantageusement l'oculaire divergent par un oculaire convergent ; il est vrai que l'image est alors renversée mais l'inconvénient est minime en astronomie et ce petit inconvénient est compensé par un accroissement du champ. Sans nous attarder sur ces aspects techniques de l'observation, rappelons les deux perfectionnements de la lunette astronomique qui ne tardèrent pas à se populariser : l'oculaire convergent de Huygens à plusieurs lentilles corrige les aberrations chromatiques ; le réticule et le micromètre à fil de Auzout, Crabtree et Gascoigne fait de la lunette l'outil de base de l'astrométrie moderne.

En tout cas, avec la lunette, Alexandre Koyré considère que commence la phase instrumentale de l'histoire des sciences et F.Hallyn ajoute ; "A partir de la lunette, la science ne relève plus de la réception, même stabilisée et raffinée, mais de l'agression par laquelle l'homme tente d'arracher ses secrets à la nature." D'ailleurs, dès les premières lignes de sa Dioptrique (1637), Descartes s'exprime clairement en faveur de l'instrument lunette : "Toute la conduite de notre vie dépend de nos sens, entre lesquels celui de la vue étant le plus universel et le plus noble, il n'y a point de doute que les inventions qui servent à augmenter sa puissance ne soient des plus utiles qui puissent être. Il est malaisé d'en trouver aucune qui l'augmente davantage que celle de ces merveilleuses lunettes qui n'étant en usage que depuis peu, nous ont déjà découvert de nouveaux astres dans le ciel et d'autres nouveaux objets dessus la Terre, en plus grand nombre que ne sont ceux que nous y avons vus auparavant ; en sorte que portant notre vue beaucoup plus loin que n'avait coutume d'aller l'imagination de nos pères, elles semblent nous avoir ouvert le chemin, pour parvenir

à une connaissance de la Nature beaucoup plus grande et plus parfaite qu'ils ne l'ont eue." Cet enthousiasme du philosophe n'est-il pas sympathique?

RETOUR SUR LA VOIE LACTEE

La présentation par F.Hallyn du Messenger des étoiles me signale aussi quelques autres fâcheuses insuffisances du premier épisode de notre histoire.

La découverte d'un grand nombre d'étoiles relève d'un penchant copernicien, selon F.Hallyn : "Kepler rappelle ainsi que les rabbins comptaient plus de 12 000 étoiles, qu'un religieux de sa connaissance en dénombrerait plus de 40 dans le bouclier d'Orion et que Mästlin en voyait 14 dans les Pléiades. D'autre part, Démocrite avait déjà défini la Voie Lactée comme un amas d'étoiles innombrables, affirmation reprise en 1603 par Johann Bayer dans son Uranometria."

Oui, mais Galilée, lui, n'imagine pas, avec sa lunette, il voit les innombrables étoiles de la Voie Lactée. Le problème est définitivement résolu comme Pascal l'écrit dans la préface au Traité du Vide :

"Car n'étaient-ils pas (les Anciens) excusables dans la pensée qu'ils ont eue pour la Voie de lait quand, la faiblesse de leurs yeux n'ayant pas encore reçu le secours de l'artifice, ils ont attribué cette couleur à une plus grande solidité en cette partie du ciel, qui renvoie la lumière avec plus de force ? Mais ne serions-nous pas inexcusables de demeurer dans la même pensée maintenant qu'aidés des avantages que nous donne la lunette d'approche, nous y avons découvert une infinité de petites étoiles, dont la splendeur plus abondante nous a fait reconnaître quelle est la véritable cause de cette blancheur."

Problème résolu, même s'il reste à savoir si toute "nébulosité" est, comme Galilée le croit, résoluble en amas d'étoiles. Prudemment, le collègue des mathématiciens du Collège romain des Jésuites déclare : "...pour la Voie Lactée, il n'est pas aussi certain qu'elle se compose toute entière de petites étoiles, et il paraît plus probable qu'il y a des parties continues plus denses, bien qu'on ne puisse pas nier qu'il y ait effectivement beaucoup de petites étoiles dans la Voie Lactée également." Prudence jésuite exemplaire, encore qu'on ne sache pas comment il paraît plus probables qu'il y ait des parties continues, etc Mais aussi comment voulez-vous qu'avec les moyens de l'époque et les idées qu'on pouvait se faire sur la nature d'une étoile, on ait aussi une idée sur les "nébuleuses"?

PROBLEMES D'INVENTAIRE

Deux questions sont donc immédiatement posées à tous les astronomes armés désormais de lunettes, qui peu à peu vont se perfectionner. Pour préciser la notion de "nébuleuse" et ne pas en rester aux formules prudentes des Jésuites, il faut citer des exemples et les observer. Dès 1611, Simon Mayer, pour la "nébuleuse d'Andromède" et Nicolas Peiresc pour la "nébuleuse d'Orion" proposent aux astronomes de belles énigmes, ces deux objets typiques resteront durablement dans la ligne de mire de générations d'astronomes. Même si, pour le moment, Mayer et Peiresc optent pour l'expression "nébuleuse" qui entend seulement décrire un aspect. On est bien loin, à l'époque de se poser des questions d'astrophysique.

La deuxième question posée est celle de l'existence possible d'une évolution dans le monde céleste. Poser la question est presque impie si on réserve le ciel comme demeure de l'éternel ou même de l'Eternel. La question se pose pourtant depuis que Galilée, Johann Fabricius et Christian Scheiner ont découvert et observé des taches variables sur le disque solaire. La dispute sur la question a beaucoup excité Galilée qui adore vraiment polémique. Peu importe qui le premier a observé les taches. L'important c'est que ces taches varient, évoluent et qu'elles révèlent la rotation du Soleil sur lui-même. Sans aucun doute, il y a des phénomènes évolutifs dans l'Univers, pensée révolutionnaire qui fera son chemin...

Déjà, en 1572, rappelez-vous, Tycho Brahé avait découvert une étoile nouvelle dans Cassiopée, une étoile qui, deux ans plus tard n'était plus visible (à l'oeil nu). Et bien avant, 1054, les Chinois avaient découvert une "étoile invitée" comme ils disaient savoureusement, dans la constellation du Taureau (et on en reparlera). L'évolution crève les yeux mais on parvient mal à l'admettre, toujours à cause de l'éternel.

Plus près de nous, en 1596, David Fabricius a découvert les variations d'éclat de l'étoile la plus brillante de la Baleine, celle que Hevelius dénomma "la Merveille". Avec les lunettes, voici un bel objet à observer, Boulliau, en 1667, vérifie que la variation d'éclat est périodique (il évalue la période à 333 jours). Vers la même époque, Montana, à Bologne observe Algol dans Persée.

Non seulement il y a des étoiles d'éclat variable, mais ces astres réputés fixes ne le sont pas tellement. Jacques Cassini, le fils de Jean-Dominique, premier de la dynastie, décèle les premiers mouvements propres stellaires.

On ne finira jamais de faire l'inventaire de la Voie Lactée et comme la lunette augmente la précision des repérages, les astronomes publient de nouveaux catalogues célestes. En particulier, celui de Hevelius à qui nous devons la dénomination de l'Ecu de Sobieski pour cette région particulièrement riche de la Voie Lactée.

L'INTERET DES COMETES

Dans ses Annales célestes du XVII^{ème} siècle, Pingré réserve chaque année une place de choix aux observations de comètes. En 1680, Newton a définitivement établi le caractère céleste des comètes, contre ceux qui n'y voyaient que des phénomènes sublunaires - et Galilée s'était fourvoyé dans une querelle à ce sujet. Maintenant, on dispose de la lunette, la chasse aux comètes est vraiment ouverte.

Une difficulté se présente dans leur identification. Une comète apparaît comme un objet flou, ou disons-le, nébuleux. Alors est-ce un comète ou une de ces "nébuleuses" dont la lunette a révélé l'existence ? Pour décider, il suffit de poursuivre l'observation de l'objet pendant plusieurs jours. Si l'on observe un mouvement propre de l'objet par rapport aux étoiles fixes, alors, plus de doute, c'est une comète. On peut aussi vérifier sur un catalogue céleste qu'à cet emplacement il n'y a pas de "nébuleuse". Encore faut-il qu'un tel catalogue d'objets flous existe.

Charles Messier (1730-1817) qui a découvert plus de vingt comètes comprit l'intérêt de ce catalogue de nébuleuses et entreprit de l'établir. Avec, pour nous, la surprise d'apprendre qu'il utilisa pour ce faire l'Observatoire de la Marine installé dans le site le plus inattendu, le pavillon de Cluny, au coeur du quartier latin de Paris. Il faut croire qu'au temps de Messier le ciel de Paris n'était pas ce qu'il est devenu.

Résultat, nous conservons les numérotages des objets que Messier observa et catalogua, même s'il mêle des objets nébuleux que nous savons aujourd'hui de natures très diverses. Messier 1 ou M1 c'est donc la nébuleuse du Crabe, identifiée aujourd'hui comme le résidu de la supernova galactique observée en 1054 par les Chinois comme "étoile invitée". M13 est l'amas globulaire de la constellation d'Hercule. M42 et M43, dans Orion, sont des nébuleuses typiques mais Messier n'en sait encore rien. M31, la "nébuleuse d'Andromède" nous servira longtemps de modèle pour notre propre Galaxie. M32, découverte en 1749 par Le Gentil sera reconnue beaucoup plus tard comme une galaxie ellipsoïdale typique.

Eu égard aux instruments dont disposait Messier, son catalogue ne pouvait échapper au genre "inventaire à la Prévert". Pas de raton laveur mais des vrais amas ouverts comme les Pléiades (M45), des vraies nébuleuses comme celles d'Orion, des fausses comme celles d'Andromède.

Une belle liste de 103 objets. M103 est un amas ouvert que la Revue des Constellations dit facile à observer dans Cassiopée. Facile peut-être pour les amateurs contemporains autrement équipés que le brave Charles du haut de Cluny (mais où donc y avait-il trouvé une terrasse pour installer sa lunette ?)

La curiosité pour les comètes n'avait-elle que des motifs raisonnables ? Même au siècle des philosophes, il y avait encore des gens pour voir dans les queues de comètes des signes diaboliques. Quoi qu'il en soit, la chasse aux comètes a joué un rôle utile dans les observations qui avancèrent l'exploration de la Voie Lactée. Restait à se faire une idée de la structure de cet ensemble d'objets un peu hétéroclites. En avait-on vraiment les moyens au XVIII^{ème} siècle ?

W.K.L.

Non, bien sûr, et pour deux raisons principales : la mesure des distances stellaires est inaccessible, la nature physique des étoiles et des "nébuleuses" reste inconnue. Donc les données manquent, l'astrophysique n'est pas encore née.

Mais qui empêchera les esprits audacieux de formuler des hypothèses ? Devant le spectacle de la Voie Lactée, comment n'en pas imaginer ? En 1750, l'Anglais Thomas Wright ouvre le débat avec l'hypothèse suivante : puisque nous voyons la Voie Lactée encercler le ciel, c'est que nous (le système solaire) sommes dedans et voyons, en projection sur la sphère céleste un ensemble qui est en réalité plutôt plat et de dimensions immenses. La conception reste forcément un peu vague mais l'hypothèse mérite d'être considérée sérieusement. Le philosophe Emmanuel Kant l'approuve. Ce Wright aura été un pionnier ; les dictionnaires généralement l'ignorent, les Wright aviateurs lui faisant tort du côté de la réputation...

Jean-Henri Lambert (1728-1777) qui fut pensionnaire de l'Académie de Berlin avait publié en 1761 des Lettres cosmologiques. Il y concevait que le Soleil était entouré de milliers d'étoiles constituant une sorte de système élémentaire, la Voie Lactée étant vue alors comme la réunion de tels nombreux systèmes élémentaires. Lambert imaginait même que d'autres Voies Lactées pouvaient former une structure de plus haut degré. Autrement dit une hiérarchie de structures, mais évidemment toujours rien de précis sur les véritables dimensions.

Il faudra attendre les années 1784-85 pour que les observations systématiques menées par Herschel apportent les premières précisions. Episode capital dans l'histoire de la Galaxie et, pour ne pas encombrer les Cahiers, je renvoie ce sujet au prochain numéro...

K.Mizar

1642 - 1992

Trois cent cinquantième anniversaire
de la mort de Galilée.

17 octobre 1992 - Cité des Sciences et de l'Industrie

Colloque et exposition :
"Comment l'oeuvre de Galilée a-t-elle été reçue
en France ?"

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

Comme toujours, ces notes de lecture privilégient les ouvrages les plus susceptibles d'intéresser les amis de la marquise. Avec ce correctif que le rédacteur des notes intervient dans le choix des livres, ne lui demandez pas l'impossible, il ne parvient pas souvent à résister à ses goûts. Aidez-le, dans l'avenir à corriger ce tropisme personnel.

TROIS CENT CINQUANTE ANS PLUS TARD

Arcetri, 8 janvier 1642, mort de Galileo Galilei. Pour commémorer l'événement, un colloque et une exposition se tiendront à la Cité des Sciences et de l'Industrie de La Villette, le 17 octobre 1992. Sur le thème : "Comment l'oeuvre de Galilée a-t-elle été reçue en France ?" A cette occasion seront présentés les quatre livres suivants, les deux premiers de Galilée lui-même, les deux autres sur Galilée, tous les quatre à paraître le 9 septembre sous le label éditions du Seuil:

1. Le Messager des étoiles traduit du latin, présenté et annoté par Fernand Hallyn (172 pages) ;
2. Dialogue sur les deux grands systèmes du monde traduit de l'italien et annoté par René Fréreau et François de Gandt (460 pages) ;
3. La révolution galiléenne par William Shea, traduit de l'anglais par François de Gandt (308 pages) ;
4. Galilée par Ludovic Geymonat, réédition mise à jour d'une biographie classique du savant.

Les ouvrages 1 et 2 trouvent naturellement leur place dans la collection "Sources du savoir", 3 dans la collection "Science ouverte" et 4 dans la collection "Points Sciences".

Dans quel ordre lire ces quatre livres ? Je propose de commencer par Le Messager des étoiles, lecture la plus facile et peut-être aussi la plus étonnante. Se replacer dans la peau des lecteurs de l'époque est facile, il suffit de se rappeler nos propres réactions lorsque nous suivions les exploits des sondes Voyager vers Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Ensuite nous mènerons simultanément les lectures de 2 et 3, les commentaires de William Shea en contrepoint du texte, oh combien savoureux, de Galilée. Pour ces trois livres qui ne paraîtront que le 9 septembre, j'ai eu le privilège de pouvoir les lire en épreuves ; pouvais-je trouver lecture estivale plus stimulante ?

K.Mizar vous a déjà dit tout le profit qu'il a tiré de l'introduction au Messager des étoiles par Fernand Hallyn. Je suis bien de son avis, sans me limiter à l'introduction. Tout au long du texte bien connu de Galilée, Hallyn sait ajouter, en marge, des remarques utiles. Exemple, quand le savant écrit, à propos des taches observées sur la Lune, que personne avant lui ne les a observées ; erreur, dit Hallyn puisque Thomas Harriot les avait observées en juillet 1609 mais sans en trouver une interprétation valable. Ce qui s'explique, la lunette de Harriot grossissait 6 fois, celle de Galilée 20 fois et l'imagination du savant faisait le reste.

Autre intérêt particulier des remarques de Hallyn, elles insistent justement sur les questions de méthode. Galilée est un subtil argumenteur, les ressources de la rhétorique et de la logique lui sont familières. Il distingue bien le syllogisme fondé sur l'induction qui établit une vérité universelle à partir de l'examen de tous les cas possibles, de l'enthymème fondé sur un exemple et qui se contente d'une énumération pas forcément complète de tous les cas possibles. "Pourquoi la même expérience faite avec la lunette au sujet des objets terrestres ne pourra-t-elle pas nous faire ajouter foi à elle dans le cas d'objets célestes ?"

Il faut aussi s'abandonner au plaisir du style de Galilée : "...nous convions aux prémices de contemplations véritablement grandes tous les amants de la vraie philosophie." Son invitation est formulée avec un enthousiasme, une confiance en la science, qui ne peuvent nous laisser indifférents. Galilée est un mathématicien du genre visuel qui a besoin de représenter ce qu'il comprend ou ce qu'il imagine. Son ami peintre Cigoli qui l'a aidé dans ses observations pense sûrement au savant quand il dit : "Sans la compréhension de l'art du dessin, un mathématicien, si grand qu'on le veuille, sera non seulement une moitié de mathématicien, mais encore un homme sans yeux." Pour rendre discrètement hommage au savant, Cigoli a peint dans la chapelle de Sainte Marie Majeure une Vierge dont les pieds reposent sur une Lune fidèle réplique des illustrations du *Messenger des étoiles*. Galilée dut y être sensible lui qui ne voyait pas de fossé entre l'art et la science.

Ne quittons pas la lecture du *Messenger* sans suivre toutes les étapes de la découverte des satellites de Jupiter. Galilée a tout de suite compris son importance ; au delà de l'existence de ces astres, jusqu'ici inconnus parce que invisibles à l'oeil nu, leur présence et leurs mouvements autour de Jupiter offre à tout observateur, un petit système solaire en réduction, quelle aubaine pour les coperniciens ! De jour en jour, c'est l'histoire passionnante d'une découverte depuis "Le sept janvier 1610, à la première heure de la nuit..." jusqu'au deuxième jour de mars "voilà les observations des quatre Planètes Médicéennes." Et le mot de la fin : "Que le lecteur bienveillant attende plus sur ces matières dans peu de temps."

Galilée devait tenir parole puisque peu après la publication du *Sidereus*, il donne la première évaluation des périodes de révolution des satellites (1612), ce que Kepler avait cru impossible. A propos des rapports de Galilée et Kepler, notons que Galilée ne cite Kepler nulle part (peut-être par prudence, citer un protestant, n'était-ce pas s'exposer ?) mais nulle part il ne le contredit, dans le *Messenger*, par exemple, il avait déjà remarqué que le satellite le plus éloigné de Jupiter était celui dont la période est la plus longue...

°°

Lançons-nous maintenant dans le grand morceau, le Dialogue sur les deux grands systèmes du monde. Nous ne disposons jusqu'ici, pour ce texte capital dans l'histoire de la pensée humaine, que d'une traduction incomplète. Dans "Dialogues. Lettres choisies" Paul Henri-Michel nous avait donné seulement la traduction de la première journée du Dialogue sur les deux systèmes (avec en plus des fragments du Discours sur les comètes et des fragments de l'Essayeur ; éd Hermann 1966). Saluons donc comme elle le mérite la traduction complète réalisée par René Fréreau et François de Gandt. Dans leur excellente introduction de 20 pages, ils donnent toutes les informations utiles sur les circonstances de la rédaction et de l'édition de l'oeuvre. Dans le cours du texte, ils ajoutent encore quelques notes toujours instructives. Nous pouvons ici entrer de plain pied, si j'ose dire, dans l'oeuvre et la pensée de Galilée, prêts à en savourer l'expression.

N'oublions pas les circonstances. Nos traducteurs rappellent justement ce mot du "Galilée" de Brecht : avec ce livre notre monde a définitivement "pris le large". La publication, en italien, a lieu en 1632 à Florence. Depuis 1597, Galilée est acquis aux idées de Copernic, en particulier à la prééminence des mouvements circulaires mais aussi bien sûr à l'idée fondamentale du Soleil au centre du système solaire, la Terre n'étant qu'une planète comme les autres. Galilée a suivi l'évolution des idées parmi les docteurs de l'Eglise et à un moment il a reconnu chez ces docteurs un certain pluralisme d'opinions. Mais en 1616, un décret romain interdit d'enseigner ou de soutenir le mouvement de la Terre. Galilée en est dûment averti. Cependant, après une période difficile, notre savant aperçoit une éclaircie du côté du Vatican avec l'élection du pape Urbain VIII. Cela l'encourage à écrire ce qu'il pense.

Habilement, il choisit de le faire sous la forme d'un dialogue entre trois personnages : Salviati qui fut son ami, qui est mort prématurément et qui dans le livre sera le véritable porte parole des idées du savant, Sagredo qui est un patricien ami de Galilée et chez qui ont lieu les rencontres auxquelles Sagredo sait assurer un constant climat d'urbanité, Simplicio enfin que Galilée charge de présenter toutes les objections des aristotéliens. Lecture aisée, texte vivant. On est dans la tradition platonicienne, accouchement des esprits par le dialogue. Avec ici, en plus, le sel de l'humour galiléen. Salviati et Sagredo multiplient habilement les digressions pour le plus grand plaisir du lecteur car Galilée a une savoureuse façon de raconter les histoires. Mais Salviati sait reprendre le fil de sa démonstration et garder la maîtrise de son argumentation. Voilà donc enfin disponible en français un chef-d'oeuvre de la littérature universelle et pour les amateurs de littérature qui fréquentent peu ou pas du tout la littérature scientifique, c'est un livre à mettre sur le même pied que Les Atomes de Jean Perrin et tous les écrits d'Albert Einstein.

Venons-en au contenu du dialogue qui s'étend sur quatre "journées". la première traite de l'ordre et de l'homogénéité du cosmos. Galilée qui connaît bien le traité Du Ciel d'Aristote commence par démolir avec fougue la lecture qu'en font les aristotéliens de son temps. Ce qu'on a découvert dans le ciel, les étoiles nouvelles de 1572 et de 1604, "si Aristote voyait ces choses, que croyez-vous qu'il dirait ?" Salviati ne peut admettre qu'un grand esprit comme celui d'Aristote refuserait aujourd'hui (1632) de reconnaître que tout dans la nature est échange. Ce qui amène le brave Sagredo à exprimer son émerveillement devant les possibilités de l'esprit humain, je ne résiste pas au plaisir de le citer tout au long :

Sagredo parle : "J'ai maintes fois considéré, moi aussi, la grande pénétration de l'intellect humain. Quand je vois tant de merveilleuses découvertes faites par les hommes, dans les arts comme dans les lettres, et que je réfléchis sur mon savoir, je ne puis promettre de trouver des choses nouvelles, ni même d'apprendre celles qui ont déjà été trouvées ; alors, confondu de stupeur, affligé de désespoir, je me jugerais presque accablé par le malheur. Si je regarde quelque excellente statue, je me dis : quand sauras-tu retirer le superflu d'un morceau de marbre et découvrir la si belle figure qui y était cachée ? Quand sauras-tu mélanger et étendre différentes couleurs sur une toile ou un mur et représenter tous les objets visibles, à la façon d'un Michel-Ange, d'un Raphaël, d'un Titien ? Si je regarde ce qu'ont trouvé les hommes pour partager les intervalles en musique, établir des préceptes et des règles dont la mise en oeuvre fait les délices de l'oreille, quand cessera ma stupeur ? Que dire de tant d'instruments si divers ? Et la lecture des poètes excellents, de quelles merveilles ne remplit-elle pas celui qui prête attention à l'invention des beautés et à leur agencement ! Que dire de l'architecture ? De l'Art de la navigation ? Mais au-delà de toutes ces stupéfiantes inventions, de quelle supériorité d'esprit témoigna celui qui trouva le moyen de communiquer ses pensées les plus cachées à n'importe qui d'autre, fût-il très éloigné dans l'espace et dans le temps ? Parler à ceux qui se trouvent aux Indes, à ceux qui ne sont pas encore nés et ne le seront que dans mille ou dix mille ans ! et avec quelle facilité ! en assemblant diversement vingt petits caractères sur une feuille de papier ! C'est là le sceau de toutes les admirables inventions humaines, ce sera la conclusion de nos discussions d'aujourd'hui ! Les heures les plus chaudes sont passées, je pense que le signor Salviati aura l'envie d'aller en barque profiter de notre fraîcheur ; demain je vous attendrai tous les deux pour continuer les discussions commencées."

Et avec un grand sens pédagogique, Sagredo, au seuil de la deuxième journée, résume l'état du débat : "Pour autant qu'il m'en souviene, l'essentiel de nos discussions d'hier fut consacré à examiner, en partant de leurs fondements, quelle est la plus probable et la plus raisonnable des deux opinions : l'une soutient que la substance des corps célestes est ingénérable, incorruptible, inaltérable, impassible, bref sans changement autre que

le changement de lieu, qu'elle constitue donc une cinquième essence très différente de celle de nos corps élémentaires, générables, corruptibles, altérables, etc, l'autre récusant cette distinction entre les parties du monde, soutient que la Terre jouit des mêmes perfections que les autres corps qui composent l'Univers, bref que c'est un globe mobile et errant au même titre que la Lune, Jupiter, Vénus et les autres planètes."

Et la discussion repart aussitôt sur les deux questions : 1) on voit les corps tomber verticalement et non obliquement, pourquoi ? 2) si la Terre tourne sur elle-même, elle doit expulser violemment les corps qui sont sur sa surface et si elle ne les expulse pas, pourquoi ? Il s'agit donc de comprendre le pourquoi du mouvement diurne et en tirer les conséquences. On se trouve aux prises avec les problèmes du mouvement. Les échanges sont riches en détours et en discussions enchevêtrées, Salviati-Galilée est aux prises avec la formulation du principe de l'inertie. Il formule deux thèses qui se complètent et lui permettent d'en approcher :

- le mouvement est comme inexistant pour celui qui y participe ; ses habitants ne sentent pas la Terre tourner ;
- l'élan une fois acquis se conserve si rien ne vient le ralentir ; c'est le cas du mouvement des planètes. Dans ce cas, Galilée reste très attaché comme son maître Copernic, au mouvement circulaire.

Quant à la non expulsion des objets de la surface de la Terre, le globe terrestre est si gros que la pesanteur suffit à contrebalancer largement l'effet de la rotation. L'idée reste imprécise, faute d'une formulation simple de la gravitation mais quand Newton aura précisé cette loi de gravitation, il pourra reprendre et achever le projet de Galilée en calculant pour telle planète, la vitesse de fuite nécessaire pour échapper à son attraction.

La troisième journée commence par une longue discussion sur l'étoile nouvelle observée en 1572 dans Cassiopée par Tycho Brahé et douze autres astronomes (liste où nous nous amusons à relever le nom d'un Georg Busch, peintre et astronome amateur à Erfurt). Des évaluations de la distance de l'étoile nouvelle, toutes divergentes et à nos yeux sans valeur, on peut alors au moins s'accorder sur le fait que l'étoile nouvelle est à la distance des fixes, autrement dit bien au delà des planètes.

Nos trois argumenteurs se posent alors la question de la structure générale de l'Univers, connaissant le mouvement des planètes devant le décor des fixes. Il faut choisir, mettre au centre le Soleil ou la Terre. Salviati montre que l'arrangement le meilleur et le plus simple est aussi le plus probable, c'est le système copernicien respectant la progression de la durée des révolutions des planètes selon leurs distances au Soleil. Cela explique aussi certaines apparences bizarres de ces mouvements des planètes, les stations et les rétrogradations. Ce qui reste étonnant c'est le vide immense entre le système des planètes et le monde des étoiles fixes. La question irritante de la mesure des parallaxes stellaires est bien posée mais nous savons que pour Salviati elle ne peut être d'actualité (la première évaluation n'aura lieu qu'en 1846). Salviati est un copernicien convaincu mais qui sait reconnaître les progrès accomplis depuis Copernic lui-même. Celui-ci ne pouvait avoir connaissance du phénomène des phases de Vénus ou de l'existence des satellites de Jupiter, phénomènes qui ne contredisent pas les thèses coperniciennes mais au contraire les renforcent.

Cette troisième journée (120 pages du livre) est le morceau de choix du dialogue.

La quatrième journée, consacrée au flux et au reflux de la mer fait contraste. Galilée se lance dans une théorie dans laquelle rotation de la Terre sur elle-même et flux et reflux de la mer se confirment mutuellement. C'est ingénieux. "Quand je me souviens des heures, des jours, des nuits aussi que j'ai passés à réfléchir sur le sujet : combien de fois, désespérant d'en venir à bout, ai-je dû, pour me consoler, me persuader, à la façon

du malheureux Orlando de l'Arioste, qu'il pourrait n'y avoir aucune vérité dans ce qu'imposait à mes yeux le témoignage de tant d'hommes dignes de foi." Galilée se sera donc donné bien du mal à construire une théorie qui ne tiendra pas une seconde devant celle de Newton.

Salviati tire la conclusion des quatre journées de discussion : les nouveautés présentées ne prétendent pas à la certitude. Il faudra toujours chercher. Prudence tout à fait justifiée quand on sait quelles difficultés Galilée va rencontrer dans les années qui suivent. Auparavant, il aura eu la satisfaction d'exercer sa verve aux dépens de ses adversaires aristotéliens. Par exemple quand il raconte qu'à une présentation de la lunette, on lui apporta un passage d'Aristote prouvant que celui-ci avait devancé l'invention de l'instrument, ne raconte-t-il pas qu'on peut voir les étoiles en plein jour du fond d'un puits ! Ces polémiques nous paraissent maintenant assez vaines mais leur récit par Galilée ne manque pas de charme, son ironie touche juste et répond par avance aux ignominies du procès.

On ne quitte pas facilement ce dialogue et ses trois animateurs, devenus pour nous de bonnes connaissances. Bien sûr, Salviati a toute notre estime, Galilée parle par sa bouche. Mais la sagesse de Sagredo, sa délicieuse urbanité sont bien sympathiques. Galilée évite les provocations inutiles, Simplicio n'est pas un pantin ridicule mais le portrait synthétique de tous les aristotéliens enfermés dans leur science ou pseudo-science livresque. Nous retrouvons dans ces trois personnages les acteurs de tous les conflits qui ont marqué les avancées de la science : les tenants de la tradition "qui a fait ses preuves" face aux enthousiastes des imaginations toutes neuves et, devant les uns et les autres, le patricien ou d'administrateur plein de sagesse qui sait bien que la théorie nouvelle l'emportera mais qu'il faut laisser du temps au temps ou, comme l'a dit Planck, attendre que les vieux traditionalistes meurent.

Ne quittons pas ces deux livres, *Messenger* et *Dialogue*, sans un mot sur les traducteurs. Ils ont su conserver la clarté pédagogique de Galilée et nous donner l'essentiel de la saveur du texte italien. Admirons la rigueur du travail et goûtons sans remords le plaisir de la lecture de deux chefs-d'oeuvre incomparables.

° °

Avec William Shea et son livre "La Révolution galiléenne", nous voilà maintenant (fin du XX^{ème} siècle) face à la lecture critique des grandes oeuvres. Ne nous laissons plus, comme ci-dessus, emportés par le plaisir. Shea ne veut plus considérer l'histoire des sciences comme un roman rose à épisodes toujours fastes aboutissant invariablement à des théories. Il faut se faire à cette idée que, même chez les plus grands, il y a des passages plus sombres. Peut-être même l'étude de ces apparentes défaillances est-elle plus instructive sur les problèmes de méthode ou sur la question irrésolue : "comment invente-t-on une nouvelle théorie ?" Avec Galilée dont l'imagination est fertile, Shea a du grain à moudre.

Ses deux premiers chapitres concernent Galilée comme disciple d'Archimède et son appréhension des problèmes de l'hydrostatique. Galilée est d'abord un mathématicien et il est amoureux d'Archimède, bonne école. Taches solaires et cieux inconstants (chapitre 3) mettent Galilée en conflit avec les tenants d'Aristote. Le défi des comètes (chap 4) est une belle occasion de polémique dans laquelle Galilée a choisi le mauvais camp, passons. Heureusement il y a le grand *Dialogue* sur les deux systèmes qui occupe toute la deuxième moitié du livre de Shea. Lecture qui complète celle du *Dialogue* lui-même, ne serait-ce que par les lettres ou textes divers rapportés par Shea. Celui-ci s'intéresse spécialement aux questions de méthode, au climat des débats.

C'est dans ce livre que je trouve cette citation de Galilée (tirée de son Discours sur les corps flottants) qui me servira de conclusion à ces pages sur Galilée :

"Je m'attends à une terrible attaque de l'un de mes adversaires, et je l'entends presque déjà crier à mes oreilles que c'est une chose de traiter des questions physiquement et une autre d'en traiter mathématiquement, et que les géomètres devraient s'en tenir à leurs fantaisies, et ne pas se mêler des questions philosophiques, où les conclusions sont différentes des questions mathématiques. Comme si la vérité pouvait n'être pas une, comme si de nos jours la géométrie était un obstacle à l'acquisition de la vraie philosophie, comme s'il était impossible d'être géomètre autant que philosophe, et qu'on dût inférer comme une conséquence nécessaire que si quelqu'un connaît la géométrie il ne peut connaître la physique, et ne peut raisonner physiquement des questions physiques ! Conséquences non moins absurdes que celle d'un certain médecin qui, mû par un accès de bile, dit que le grand docteur Acquapendente, fameux anatomiste et chirurgien, devrait s'en tenir à ses scalpels et ses onguents, sans vouloir réaliser des guérisons par la médecine, comme si la connaissance de la chirurgie était opposée à la médecine et la détruisait."

°°

Au moment d'écrire ces notes, je n'ai pas relu la biographie de Galilée par Geymonat. En annexe à son livre, Shea traite rapidement des rapports de l'Eglise avec Galilée. Il me semble qu'après l'étude de Pietro Redondi, "Galilée hérétique", il n'y a plus grand chose à dire sur les contradictions entre passages de l'Ecriture et expériences sensibles. En tout cas c'est un autre sujet que celui du Dialogue, de l'admirable Dialogue.

LE MIRAGE ET LA NECESSITE

pour une redéfinition de la formation scientifique de base par Michel Hulin ; textes rassemblés et présentés par Nicole Hulin avec la collaboration de Michel Blay. 340 pages ; édition Presses de l'Ecole Normale Supérieure et Palais de la Découverte.

Les textes présentés dans ce volume couvrent la période 1970 à 1988. Michel Hulin y est d'abord profondément impliqué dans les travaux de la Commission Lagarrigue pour la réforme de l'enseignement des sciences physiques. S'intéressant depuis toujours aux problèmes de la vulgarisation scientifique, il a trouvé à s'y investir comme Directeur du Palais de la Découverte jusqu'à sa disparition brutale et regrettée de 1988.

A ses yeux, le bilan de la Commission Lagarrigue est décevant ; cf le texte "La physique ou l'enseignement impossible" (p.147). Son ardeur reste pourtant intacte quand elle s'exerce dans le cadre du Palais de la Découverte. Il envisage alors de publier ses réflexions sur le problème général de la formation scientifique ; il eut seulement le temps de rédiger le plan de ce livre qui aurait eu pour titre Les leçons de la déconvenue.

Ce texte ouvre le recueil et lui donne sa tonalité. Si nous avons vécu, depuis 1945, les échecs succesifs des tentatives de réforme de notre enseignement, nous savons qu'il faut avoir une dose peu commune de convictions solides, ancrées sur des principes à l'épreuve des pires déceptions, pour garder son ardeur en état. C'était le cas de Michel Hulin. Déconvenue n'est pas découragement. Les textes de Hulin serviront longtemps à réveiller les enseignants que nous sommes.

Voici un bref aperçu du sommaire de ces 340 pages :

1. Sur l'enseignement scientifique et le cas de la physique ; textes de la période Société Française de Physique et Commission Lagarrigue (1970-76), puis les textes de la période 1978-88.
2. De la didactique à la vulgarisation scientifique (1978-88), sur la didactique de la physique, sur la vulgarisation et le Palais de la Découverte.
3. En épilogue, la vulgarisation et l'enseignement face à un défi.

Tout est à lire, chacun en tirera profit. J'ai été plus particulièrement intéressé par le texte écrit par Hulin pour les 50 ans du Palais de la Découverte, "Etat des lieux d'un quinquagénaire, octobre 1987". En le lisant,

je revoyais mes premières visites au Palais lors de l'Exposition de 1937 puis les visites avec des groupes d'élèves au planétarium et dans les salles d'astronomie. J'étais passé de l'admiration la plus enthousiaste à certaines insatisfactions parce que tout s'use aussi bien la jeunesse que la fraîcheur. Par sa formation et l'orientation de ses goûts et de ses idées, Michel Hulin était bien l'homme à redonner une vie neuve au Palais de la Découverte.

Le titre du recueil de ses écrits, *Le Mirage et la Nécessité*, est bien choisi. Le mirage fait rêver et donne des ailes à l'imagination pour aller à la nécessité, la formation de base. Pour les lecteurs des Cahiers Clairaut, voici un livre à garder à portée de la main, s'y reporter souvent pour avancer en gardant le cap.

LECONS DE MATHÉMATIQUES

édition annotée des cours de Laplace, Lagrange et Monge à l'Ecole Normale de l'an III, avec introduction et notes sous la direction de Jean Dhombres et avec la participation de Bruno Belhoste, Amy Dahan Dalmédico, Roger Laurent, Joël Sakarovitch et René Taton. 624pages ; édition reliée ; Dunod 1992.

Encore un très grand livre d'histoire des sciences comme le Dialogue de Galilée. Mais cette fois l'ouvrage concerne plus directement l'enseignement et spécialement celui des mathématiques

Reportons-nous par la pensée en 1795, l'an III de la toute jeune République Française. La Convention nationale, sur l'initiative de Barrère a décidé la création de l'Ecole Normale qui, sous sa première forme ne vivra qu'une petite année - mais avec quel éclat ! - et qui après diverses transformations deviendra l'Ecole Normale Supérieure d'aujourd'hui. A l'époque son objectif est l'urgente formation des instituteurs responsables des premiers défrichages, tâche particulièrement importante aux yeux de ceux qui voulaient construire, pour la première fois dans ce pays, une république moderne. Les Conventionnels prenant le projet au sérieux eurent l'idée géniale de confier cet enseignement élémentaire aux plus grands savants du pays.

Tournons rapidement les pages de ce beau livre pour donner une idée de sa richesse. Introduction générale par J.Dhombres : les cours eurent lieu au Muséum d'Histoire Naturelle, seul local disponible pour accueillir les 1400 élèves venus de toute la France et dont le niveau de préparation était très inégal, très faible pour certains, très élevé au moins pour l'un de ceux qui furent les plus attentifs, Fourier.

Les dix leçons de Laplace sont précédées d'un texte de Dhombres "L'affirmation du primat de la démarche analytique" ; des explications fort utiles sur le contenu de ces leçons qui traitent d'arithmétique, d'algèbre et de géométrie de façon élémentaire mais profonde plus une séance sur les probabilités. Des notes éclairent des expressions devenues hors d'usage ou renvoient à des annexes sur lesquelles nous reviendrons.

Même formule pour les leçons de Lagrange présentées par Amy Dahan Dalmédico; "La méthode critique du mathématicien philosophe". Les leçons reprennent les sujets abordés par Laplace, les deux savants ont du penser que deux présentations différentes pouvaient aider à une compréhension plus complète de sujets aussi importants que les bases de la numération ou de la résolution des équations.

Les leçons de Monge sont présentées par Belhoste et Taton, "L'invention d'une langue des figures. Monge présente avec enthousiasme sa toute fraîche géométrie descriptive. Des trois mathématiciens, il est celui qui a le mieux conquis son auditoire. Cela nous surprend peut-être mais il faut penser que la géométrie descriptive présentée par Monge en l'an III n'avait pas été maltraitée par des générations de taupins et des quantités industrielles de concours. D'une belle théorie faire une matière à concours ce peut être un crime.

Les leçons des trois savants sont complétées par 21 annexes traitées par les équipiers de Dhombres et lui-même, sur des sujets qui satisferont tous les amateurs, qu'ils traitent des fractions continues (vive l'arithmétique).

que tant délaissée dans nos programmes scolaires) ou de la figure de la Terre en passant par l'utilisation des aérostats pour le lever des cartes.

Enfin, il faut le dire et le souligner, ce livre de bonnes mathématiques a une importance particulière parce que l'Ecole Normale de l'an III doit faire penser, dans ses ambitions, aux jeunes et nouveaux IUFM qui se sont mis en place en 1992 et qui, on l'espère bien, dureront plus longtemps que l'éphémère Ecole Normale. Bien sûr, les enseignants des IUFM d'aujourd'hui ne sont pas tous des Laplace ou des Lagrange -ceci dit sans vouloir nier ou minimiser leurs mérites - mais l'idée qui était celle des Conventionnels de l'an III, idée que je disais géniale, reste aujourd'hui une riche idée : que la formation des enseignants des écoles, des collèges et des lycées mette ces futurs maîtres en contact direct avec la science moderne, celle qui est toute fraîche née et pleine de promesses. Une bonne recette qui a fait le succès de nos Universités d'été.

C'est pourquoi je pense que ces Leçons de mathématiques méritent l'attention de tous ceux qui travaillent au progrès de l'enseignement public. Vive l'enseignement révolutionnaire !

EPHEMERIDES ASTRONOMIQUES 1993

annuaire du Bureau des Longitudes ; 316 pages, cartes, deux dépliants ; éd Masson, 190 F.

La publication annuelle du Bureau des Longitudes est réalisée sans interruption depuis 1796. On y retrouve comme toujours les données sur le calendrier, les positions du Soleil, de la Lune et des planètes avec leurs satellites ainsi que les éclipses en 1993 et 1994. Suivant les recommandations de l'UAI, le système de référence adopté est lié à la nouvelle époque origine, dite J2000.0

Notez bien, s'il vous plaît : Le Bureau des Longitudes a ouvert un service MINITEL

Appeler 36 16 code BDL

vous obtiendrez :

- heures du lever, du coucher du Soleil, hauteur, azimut et éclipses.
- Lune heures du lever et du coucher, phases éclipses
- Planètes et satellites : positions et phénomènes
- Calendriers, concordances, changements d'heure.

Encore une information précieuse, certaines données sont disponibles pour une période de temps de plusieurs milliers d'années.

JOURNEES APLF 1991

Voici le compte rendu de la septième réunion de l'Association des Planétariums de Langue Française qui eut lieu à Pleumeur Dodou, les 6, 7 et 8 mai 1991 sur le thème "Les Planétariums et le tourisme scientifique" Au sommaire : 1) Tourisme scientifique. 2) Actions en cours. 3) Echanges de spectacles de planétariums et de programmes audiovisuels. 4) Les planétariums itinérants.

Les lecteurs des Cahiers Clairaut ne peuvent que se réjouir des progrès et de la vitalité de l'APLF dont la Présidente, Agnès Acker est aussi vice-présidente du CLEA.

L'ORIGAMI, ART DU PLIAGE BT2 n° 244 par Jean-Pierre Brunet

Les enseignants connaissent bien les BT2, publications de l'Ecole Moderne Française (mouvement Freinet). Ils savent aussi que pour fabriquer des maquettes d'astronomie, il est bon de connaître l'art du pliage du papier et du carton. Ils apprécieront donc qu'un astronome, Jean-Pierre Brunet, ait pris soin de les initier à cet art.

LES PROBLEMES DU CLEA

Pour répondre à des questions embarrassantes posées par des lecteurs, la rédaction a besoin de l'aide de tous. Nous les reproduisons telles qu'elles nous ont été posées. Pour certaines, nous connaissons la réponse mais préférons publier la vôtre.

59.1 - Je lis, dans les Ephémérides 1993, que le Soleil sera au périhélie le 4 janvier à 03h et à l'apogée le 4 juillet à 22 h. J'en déduis que pour aller d'un sommet à l'autre de la ligne des apsides la Terre aura mis 181,792 jours ; alors que la moitié de 365,25 jours est 182,625 jours. Expliquez moi pourquoi la Terre met moins d'une demi année à parcourir une demi orbite.

59.2 - Comment faire cuire un oeuf avec une fronde ?

Il paraît que les Babyloniens y réussissaient en plaçant l'oeuf dans une fronde qu'ils faisaient tourner rapidement.

Essayez. Il faut disposer d'un oeuf frais, d'une fronde et de toute l'énergie nécessaire pour faire tourner la fronde. Alors de deux choses l'une : ou bien vous obtenez un oeuf dur par ce procédé et alors nous nous décrivons exactement les conditions de votre exploit, ou bien vous n'obtenez pas l'oeuf dur et alors nous vous donnons l'explication dans le prochain Cahier.

59.3. - De qui est-ce ?

"La difficulté de comprendre comment se fait le chant de la cigale, même quand nous l'avons sous la main en train de chanter, suffit largement à nous excuser de ne pas savoir comment une comète se forme à une distance si énorme."

Bibliographie, suite

DANS LES REVUES

Espace Information n°50 (avril 1992) : Les voyages spatiaux imaginaires (depuis Cicéron, Kepler, Cyrano, Fontenelle, Voltaire et Jules Verne).

Pour la Science n°176 (juin 1992): les fluctuations primordiales par Laurent Nottale. N°177 (juillet 92) : Les nébuleuses planétaires par Noam Soker. N°178 (août 92) : Les premiers résultats du télescope spatial Hubble par Eric Chaisson.

La Recherche n°244 (juin 92) : la radioactivité des étoiles par Nicolas Prantzos. N°245 (juillet-août 92) : des météorites venues d'autres systèmes solaires par Frédéric Cretu. Hiparcos, la mission sauvée par Jean Kovalevsky.

LES NOUVEAUX DOCUMENTS PEDAGOGIQUES DU CLEA

Le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA et Roland Szostak ont réalisé une nouvelle série de diapositives D5 : "Une expérience pour illustrer les saisons" (8 diapositives, accompagnées d'un livret). Prix de vente 35 francs (incluant les frais d'expédition).

Le compte rendu de l'Université d'été de Gap (1990), réalisé par Michèle Gerbaldi est paru ; le prix de vente incluant les frais d'expédition est de 110 francs.

Le CLEA diffuse le CINECIEL réalisé par Claude Piguet dans une version sans la boîte support, trop difficile à expédier et relativement aisée à fabriquer soi-même. Le Cinéciel, qui permet de visualiser les différents systèmes de coordonnées et les mouvements apparents du Soleil, des planètes et des étoiles, est distribué en kit, avec une notice de montage et d'utilisation ; il sera décrit de façon détaillée dans un prochain numéro des Cahiers. Son prix de vente, incluant les frais de port, est de 100 francs.

Vous pouvez adresser vos commandes au secrétaire, Gilbert Walusinski, 26 parc de la Bérenghère 92210 Saint Cloud. Les chèques sont à établir à l'ordre du CLEA.

A L'OBSERVATOIRE DU PIC DES FEES

Note de la rédaction : Nous donnons ci-dessous de nouveaux exemples de l'activité menée à l'observatoire de Hyères (voir n° 57 des Cahiers).

A la suite d'exposés et de projections de diapositives, Jean-Marie Resch distribue divers questionnaires dont nous donnons ci-dessous deux exemples.

OBSERVATOIRE DU PIC DES FEES
JM RESCH

En utilisant les termes du bas de la page, je retrouve leur définition et j'écris leur nom dans le tableau.

DEFINITION PROPOSEE	TERME CORRESPONDANT
C'est la ligne qui pour l'observateur permet de mesurer le lever ou le coucher d'un astre. Cette ligne fait un angle droit avec le fil à plomb.	
C'est un groupe d'étoiles que l'homme rassemble par hasard. Les étoiles d'un même ensemble ne se trouvent pas à la même distance de nous	
C'est le moment précis où un astre pourrait devenir visible pour un observateur.	
C'est le moment précis où un astre va cesser d'être visible pour un observateur.	
C'est le parallèle le plus long de la Terre. Il partage le globe en deux volumes égaux.	
C'est le point du ciel situé dans la direction verticale du fil-à-plomb et au dessus de la tête.	
Se dit d'un astre qui passe au plus haut de sa course dans le ciel pour un observateur.	
Se dit d'un lieu situé dans l'hémisphère Nord	
C'est un astre dans lequel on peut trouver des corps solides, liquides ou gazeux. Il réfléchit la lumière des étoiles.	
C'est un objet qui tourne autour d'un autre. Il évite ainsi de tomber sur ce dernier. Il peut-être naturel ou artificiel.	
Appareil permettant de reconstituer le ciel sous différentes latitudes.	

TERMES A EMPLOYER:

Une CONSTELLATION; l'HORIZON; le ZENITH ; l'EQUATEUR; un SATELLITE; un PLANETARIUM; une PLANETE ; le LEVER; CULMINER; le ZODIAQUE; BOREAL; le COUCHER.

OBSERVATOIRE DU PIC DES FEES
JM RESCH

Répondez par VRAI ou FAUX aux affirmations suivantes.
Proposez une correction quand c'est FAUX.

Les AFFIRMATIONS	VRAI OU FAUX	CORRECTION PROPOSEE
Une planète ne scintille pas.		
Une étoile est un corps solide		
Il y a une araignée dans un télescope.		
On peut voir le diamètre d'une étoile dans un télescope.		
L'étoile la plus proche de nous est le Soleil.		
L'étoile polaire fait partie de la constellation de la Grande Ourse.		
Il y a un miroir concave dans une lunette.		
L'année-lumière est la distance que parcourt la lumière en un an.		
Toutes les étoiles sont à la même distance de nous.		
Une étoile bleue est plus chaude qu'une étoile rouge.		
On voit des millions d'étoiles à l'oeil nu.		
Le Soleil reste toujours à la même place par rapport aux étoiles.		
En été au POLE NORD le Soleil ne se couche pas.		
Durant l'hiver chez nous, le Soleil est le plus proche de la Terre.		

L'ASTRONOMIE A L'ECOLE PRIMAIRE

L'enseignement scientifique et technique à l'école primaire fait l'objet d'une réflexion menée par la Direction des Ecoles (DE), devant aboutir à la publication de nouveaux programmes. Le Groupe Technique "Sciences", mis en place depuis un an par la DE, a finalisé ses propositions, qui doivent être soumises à la DE. Ces programmes ont été rédigés avec le souci de présenter les activités susceptibles de permettre d'instaurer dès l'école les bases d'une culture scientifique et technique, et non de distinguer les différentes disciplines du domaine scientifique.

Nous publions ci-dessous des extraits d'un document **provisoire** rédigé par le Groupe Technique (GT). On se limite à la section "Phénomènes naturels", qui inclut les notions d'astronomie. Tout commentaire de la part des lecteurs des Cahiers sera utile à Lucienne Gouguenheim, membre du GT.

Le GT est tout à fait conscient de la difficulté essentielle rencontrée par cet enseignement : la faible formation scientifique des instituteurs. Ce que l'on sait de la place faite aux sciences expérimentales dans les IUFM ne laisse guère espérer une meilleure formation pour les professeurs d'école.

Pourtant le CLEA sait aussi l'intérêt que beaucoup d'instituteurs portent à l'astronomie: le succès du numéro 1 hors série des Cahiers Clairaut en témoigne.

CYCLE 1	CYCLE 2	CYCLE 3
<p>PHENOMENES NATURELS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'ombre; - le jour, la nuit; - les saisons; - un changement d'état de l'eau. 	<p>NOTION DE CYCLE: la journée, l'année et les saisons</p> <ul style="list-style-type: none"> - la journée - les saisons <p>LE MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL ET LES ETATS DE LA LUNE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - le soleil - les ombres - la lune - histoire récente de l'exploration spatiale <p>L'AIR, L'EAU, LES ETATS DE LA MATIERE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notion d'état et de changement d'état - Notion de température - Notion d'horizontalité et de verticalité. - eau, glace, roche, lave - l'air et l'eau 	<p>NOTION DE CYCLE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jour, nuit, saisons. - Le temps et le calendrier L'heure solaire, l'heure légale et les fuseaux horaires. Le calendrier <p>LE CIEL ET LA TERRE</p> <ul style="list-style-type: none"> - La lumière. - Les ombres - Les phases de la lune - Les constellations - Le système solaire. - La Terre est une planète active - Les matériaux terrestres peuvent être utilisés par l'homme <p>L'AIR ET L'EAU:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notion d'état et de forme - Notion de pression - Notion de température - Atmosphère et cycle de l'eau <p>QUELQUES PROPRIETES DE LA MATIERE</p> <ul style="list-style-type: none"> - caractéristiques des aimants - acidité: <ul style="list-style-type: none"> du goût à la mesure (notion de pH) - notion de dispersion, de précision, d'erreur de mesure - Mélanges et réactions chimiques: <ul style="list-style-type: none"> .solubilité .miscibilité

CYCLE I

CONTENUS	COMPETENCES	ACTIVITES
<p>Objets et matières</p> <p>Phénomènes naturels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'ombre; - le jour, la nuit; - les saisons; - un changement d'état de l'eau. <p>Le monde du vivant:</p> <p>croissance, déplacement, nutrition, naissance, reproduction, perception...</p>	<p>L'élève doit être capable:</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'approcher les caractéristiques des matériaux (dur/mou, lisse/rugueux, souple/rigide); - d'approcher le choix raisonné d'un outil; - de s'assurer du fonctionnement d'un objet technique (de changer les piles, l'ampoule); - de découper, plier, coller; - d'agir selon une intention et de valider l'objet réalisé. - de distinguer l'ombre de l'objet; <p>L'élève doit être sensibilisé:</p> <ul style="list-style-type: none"> - à l'alternance jour/nuit; - au cycle des saisons. <p>L'élève doit savoir que la fonte de la glace donne de l'eau.</p>	<p>En fabriquant des objets,</p> <ul style="list-style-type: none"> - se familiariser avec des outils, ustensiles, instruments (marteau, scie, tournevis, presse, étou, mixer, presse-fruit...) et avec des matériaux; - se familiariser avec des modes d'assemblage et de liaison démontables et non-démontables (colle, agraffe, boulon, clou...) - utiliser des objets techniques, les démonter, les remonter. <p>Faire des jeux au soleil, des ombres chinoises.</p> <p>Faire des jeux avec des miroirs.</p> <p>Faire diverses observations , rechercher des indicateurs (meteo, saisons).</p> <p>Fabriquer, faire fondre de la glace.</p> <p>Explorer et découvrir des manifestations de la vie humaine, animale, végétale.</p>

CYCLE 2

CONTENUS	COMPETENCES	ACTIVITES
<p>NOTION DE CYCLE: la journée, l'année et les saisons</p> <ul style="list-style-type: none"> - la journée - les saisons <p>LE MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL ET LES ETATS DE LA LUNE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - le soleil - les ombres - la lune - histoire récente de l'exploration spatiale <p>L'AIR, L'EAU, LES ETATS DE LA MATIERE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Notion d'état et de changement d'état - Notion de température 	<p>On souhaite que l'élève sache ou connaisse:</p> <ul style="list-style-type: none"> - distinguer "jour" et "journée"; - observer les manifestations du changement de saison sur l'environnement immédiat; - que le soleil change de place au long de la journée; - qu'il se lève (et se couche) toujours à peu près dans la même direction; - prendre des repères par rapport à un environnement immédiat. - qu'au soleil les objets ont une ombre; - que la lune se présente sous différents aspects(phases); - qu'on peut l'observer de jour; - que la Terre et la Lune sont des boules; - que des hommes sont allés sur la Lune; - qu'on ne peut pas vivre sur la Lune comme on vit sur la Terre; - qu'il n'y a pas d'eau liquide sur la Lune comme sur les autres planètes; - qu'il n'y a pas d'air sur la Lune, qu'on y est plus léger. - que l'eau peut se présenter dans l'état solide, liquide, ou gazeux; - reconnaître des phénomènes d'ébullition, d'évaporation, de condensation, de fusion; - qu'un solide a une forme propre mais qu'un liquide change de forme suivant le récipient. - que la température se mesure avec un thermomètre; - utiliser un thermomètre; - donner la température avec une unité; - que ses propres sensations (froid, tiède, chaud, brûlant) sont subjectives. 	<p>Observer de façon systématique tout au long du cycle afin de faire des "liens", de constater la périodicité de certains phénomènes. Faire ce travail en liaison avec l'apprentissage de l'heure et de la date.</p> <p>Suivre la course du soleil. Observer les variations saisonnières.</p> <p>Observer les ombres au long de la journée, selon les saisons. Jouer à l'ombre, au soleil, avec la lumière; rechercher des sources de lumière; jouer aux ombres chinoises.</p> <p>Observer le ciel, faire des descriptions simples.</p> <p>Utiliser des images télévisées (bulletin météo, missions spatiales) pour constater que la Terre est une boule, qu'il existe d'autres objets célestes très éloignés dans l'espace, aux conditions différentes de celles de la Lune.</p> <p>Faire des activités de cuisson:</p> <ul style="list-style-type: none"> - à la vapeur; - à l'eau bouillante. <p>Faire des observations:</p> <ul style="list-style-type: none"> - évaporations (dans diverses situations); - condensation sur les vitres. - transvasements de liquides. <p>Effectuer des observations météorologiques en fonction des conditions climatiques : nuages, pluie, neige, glace. Faire des relevés de températures (eau séjournant dans la classe, sortant d'un réfrigérateur, que l'on va boire; boisson tiède, chaude; eau chaude sanitaire; cube de glace...).</p> <p>Mettre en relation ses sensations(froid, tiède...)avec les données de l'appareil de mesure.</p>

CYCLE 3

CONTENUS	COMPETENCES	ACTIVITES
<p>NOTION DE CYCLE - Jour, nuit, saisons.</p> <p>- Le temps et le calendrier L'heure solaire, l'heure légale et les fuseaux horaires.</p> <p>Le calendrier</p>	<p>On souhaite que l'élève sache ou connaisse:</p> <p>-déterminer les points cardinaux(ombre, étoile polaire, en utilisant une boussole avec les précautions d'utilisation), -matérialiser le méridien local, -repérer les directions du lever et du coucher du soleil, représenter sa course en différentes saisons.</p> <p>-caractériser le midi solaire -que l'heure légale caractérise l'ensemble du fuseau. -que le temps universel est valable pour l'ensemble de la planète. -qu'en France, on utilise une heure légale différente en hiver et en été</p> <p>-que le calendrier permet de repérer des événements sur une longue durée et se fonde sur des phénomènes répétitifs et permanents , -qu'il existe plusieurs sortes de calendriers, que le nôtre reproduit le cycle des saisons, et d'autres, comme le calendrier musulman, le cycle des lunaïsons.</p>	<p>Etudier les jours et les nuits sur un globe terrestre éclairé. Etudier graphiquement les variations des durées des jours et des nuits. Effectuer des relevés d'ombres au cours de la journée à différents moments de l'année. Construire un cadran solaire équatorial.</p> <p>Utiliser divers documents (banque de données). Construire ou utiliser un indicateur de fuseaux horaires. Sensibiliser au problème du décalage horaire entre différents pays .</p> <p>Lire le calendrier des postes, rechercher le cycle des saisons, celui de la lune. Retrouver l'origine des noms de certains jours de la semaine en référence aux noms des astres. Etudier différents calendriers.</p>
<p>LE CIEL ET LA TERRE -La lumière.</p> <p>- Les ombres.</p> <p>- Les phases de la lune.</p> <p>Les constellations</p>	<p>-que les sources de lumière sont diverses; -qu'à partir d'une certaine température (environ 500°C) un corps chaud devient incandescent et émet de la lumière; -reconnaître ce phénomène dans le filament d'une ampoule électrique.</p> <p>-le fonctionnement de l'appareil photographique, -les principaux réglages.</p> <p>-distinguer: . ombre portée, ombre propre, cône d'ombre, . ombre (partie non éclairée) et obscurité(absence de lumière).</p> <p>-le vocabulaire spécifique aux phases de la lune, -le cycle lunaire.</p> <p>-reconnaître quelques constellations. -repérer le nord avec l'étoile polaire. -reconnaître une planète d'une étoile par son déplacement.</p>	<p>Chauffer du fer, du charbon de bois, du cuivre à la flamme. Chauffer de la paille de fer par court-circuit entre les bornes d'une pile. Etudier des documents sur les volcans et la lave, observer des braises. Observer la flamme d'une bougie, rechercher le corps incandescent.</p> <p>Manipuler l'appareil, faire des prises de vues. Construire un appareil.</p> <p>Observer des ombres sur un objet éclairé; prévoir, chercher les limites de l'ombre. Utiliser des cadrans solaires.</p> <p>Observer les modifications de l'ombre lorsque la position de l'observateur ou celle de la source de lumière varient.</p> <p>Observer la lune (à l'occasion d'une classe verte par exemple).</p> <p>Interpréter les données du calendrier des postes.</p> <p>Faire une observation suivie pendant une lunaïson, réaliser une frise.</p> <p>Si l'opportunité s'en présente (classe de mer, école située sur le littoral), observer les marées en relation avec les positions de la lune (utilisation du journal local, du calendrier des postes..).</p> <p>Lire des légendes, observer le ciel, visiter un planétarium.</p>

Le système solaire.	-la place de la Terre dans le système solaire, en ayant conscience de l'énormité des distances, -quelques étapes de l'exploration spatiale.	Construire une maquette du système solaire.
La Terre est une planète active	-que volcans et séismes sont des manifestations de cette activité. -que l'activité peut se manifester par des phénomènes brutaux, catastrophiques, ou par des processus à peine perceptibles. -que l'étude des risques majeurs encourus par l'homme permet de les prévoir, de rechercher les conditions de leur prévention, d'en atténuer les conséquences.	Etudier le volcanisme (manifestation, intensité, répartition géographique...)
Les matériaux terrestres peuvent être utilisés par l'homme	-que les hommes prélèvent dans le milieu des roches qu'ils utilisent selon leurs propriétés pour la construction des habitations, des routes, pour diverses industries.	Imaginer et réaliser des expériences pour étudier les propriétés de certaines roches utilisées par l'homme (argile, calcaire, sable...) Etablir des comparaisons (dureté, résistance) entre différentes roches de l'environnement local.
L'AIR Notion d'état gazeux	-reconnaître, bien qu'il soit invisible, la présence de l'air .	Souffler sur une hélice. Fabriquer des bulles à partir de savon, de liquide tensioactif (type produit ménager), de liquide visqueux (huile).
Atmosphère et cycle de l'eau	-reconnaître, bien qu'elle soit invisible, la présence de vapeur d'eau dans l'air. -le cycle de l'eau dans l'atmosphère.	Faire des activités expérimentales (vaporisation, condensation). Pratiquer des observations météo.
Notion de pression	-que dans un ballon, un pneu, l'air est plus ou moins comprimé ("tassé"). -que la pression peut se mesurer avec des appareils et s'exprimer en hectopascals. -que si la pression est trop forte il peut y avoir explosion.	Faire des mesures de pression (ballon de baudruche, pneus de bicyclette). Récouter des informations sur les dangers de certains produits livrés sous pression. Faire des relevés de la pression de l'air (baromètre), bulletin météo, des activités graphiques.
Notion de température	-utiliser un thermomètre. -dans quelles conditions on relève la température de l'air.	Utiliser, construire divers types de thermomètre. Faire des relevés de température de l'air sur une journée, graphique.
QUELQUES PROPRIETES DE LA MATIERE - caractéristiques des aimants	-reconnaître un aimant, en identifier les pôles. -qu'un aimant attire toujours un objet en fer. -que l'aiguille de la boussole est un aimant.	Rechercher des substances attirées par un aimant (clou, pièce en nickel, punaises); observer les interactions entre aimants. Effectuer des parcours d'orientation. Fabriquer des boussoles.
- acidité: du goût à la mesure (notion de pH)	-comparer et ranger des solutions en fonction de leur acidité -comparer par la perception -lier acidité et dilution -constater la nécessité de mesurer un pH et le faire (avec du papier pH)	Préparer des solutions (jus de citron plus ou moins dilué, vinaigre), les classer selon l'acidité. Effectuer des mesures. Fabriquer du shampoing.
- Mélanges et réactions chimiques: .solubilité .miscibilité	-utiliser un petit matériel (compte-gouttes) -transvaser sans renverser -manipuler en respectant les consignes de sécurité. -reconnaître un dégagement de CO ₂ . -distinguer mélange et réaction chimique	Utiliser une mini-banque de données. Faire des mélanges de liquides miscibles ou non miscibles. Préparer une vinaigrette, une solution de sucre, de farine, de sel dans l'eau; alcool, vinaigre, huile. Réaliser des réactions donnant : .un dégagement gazeux .un précipité .un changement de couleur. Faire une électrolyse à anode soluble.

<p>- Notion d'horizontalité et de verticalité.</p>	<p>- que la surface de l'eau dans un récipient de section suffisante est horizontale; - qu'un fil auquel on a suspendu un objet assez lourd est vertical; vérifier l'horizontalité avec une équerre associée au fil à plomb; - reconnaître le caractère de perpendicularité;</p>	<p>Effectuer diverses manipulations et observations (bouteille remplie d'eau dans diverses positions).</p>
<p>- eau, glace, roche, lave - l'air et l'eau</p>	<p>- que la matière peut se présenter sous diverses formes, - faire des relations entre le cycle des saisons et l'eau, - décrire les actions de l'air et de l'eau: érosion, transport, dépôt.</p>	<p>Manipuler des solides et des liquides. Fabriquer de la glace. Observer les changements d'état de la roche (documents sur les volcans). Faire des observations en classe de découverte.</p>
<p>LE CORPS DE L'ENFANT Le corps de l'enfant est vivant Notions de: -croissance et développement</p>	<p>-énoncer les manifestations de la vie de son propre corps; -dire que son corps grandit et grossit; -reconnaître qu'il a acquis de nouvelles capacités (faire une roulade, lire, prendre des responsabilités...).</p>	<p>Observer des photographies d'enfants à différents âges. Mettre en évidence la croissance des différentes parties du corps. Effectuer un inventaire des acquisitions successives à différents âges. Organiser une enquête à l'école maternelle.</p>
<p>-mouvement</p>	<p>-dire que son corps peut effectuer divers mouvements, nommer et situer les articulations.</p>	<p>Effectuer des mouvements simples et noter les diverses possibilités du corps en relation avec son organisation. Construire un pantin et remarquer les différences observables avec son propre corps.</p>
<p>-alimentation</p>	<p>-que son corps a besoin d'aliments variés, -reconnaître que, malgré leur diversité apparente, les aliments sont pour l'essentiel soit d'origine animale, soit d'origine végétale, -que les aliments consommés progressent dans un tube appelé tube digestif.</p>	<p>Organiser des situations de réflexion et de choix à propos de l'alimentation. Faire la liste des aliments mangés dans la famille ou au restaurant scolaire et en rechercher l'origine. Effectuer des classements. Comparer avec les repas des animaux. Etablir le trajet suivi par les aliments de la bouche à l'anus, par l'observation d'un animal, de radiographies ou d'autres documents.</p>
<p>-respiration et circulation (première approche)</p>	<p>-situer quelques organes de son corps dont il a observé les manifestations.</p>	<p>Observer les manifestations du fonctionnement de son corps (entrée et sortie d'air, écouter les battements du cœur). Concevoir des moyens simples de mise en évidence de ces diverses manifestations. Etablir par l'écoute la simultanéité du pouls et des battements du cœur.</p>
<p>-perception</p>	<p>-que les organes des sens lui permettent de connaître le monde qui l'entoure;</p>	<p>Inventorier les renseignements apportés par les organes des sens Montrer les limites des organes des sens lors de jeux et exercices divers (fermer les yeux, se boucher les oreilles...) Localiser les organes des sens sur son propre corps et sur les animaux en élevage.</p>

ASTROLOGIE ET RECRUTEMENT

Monsieur X, candidat au poste de directeur commercial, pénètre, un peu anxieux, dans le confortable bureau du cabinet de conseil en recrutement. Face à trois "chasseurs de têtes", il retrace les grandes étapes de sa carrière, définit ses méthodes de travail, dresse un bilan de ses expériences et de ses projets. L'entretien, d'abord un peu guindé, devient plus amical et Monsieur X se détend : tout va bien.

On le fait alors passer dans la pièce voisine, où une secrétaire enregistre sur ordinateur les détails de son état-civil, de sa carrière, etc. Il est un peu surpris qu'elle lui demande même son heure de naissance. Qui cela peut-il intéresser ?

Trois semaines plus tard, Monsieur X déchire une enveloppe et lit avec consternation : "... apprécié votre candidature... sommes au regret de vous informer... profil du poste..."

Faisons confiance à Monsieur X. Il sera convoqué pour d'autres entretiens où il saura convaincre, plaire. Il sera recruté et ses nouvelles responsabilités lui feront oublier cet épisode décevant de sa carrière. Monsieur X ne saura jamais ce qui s'est passé ce jour-là : avec le lieu, la date et l'heure de sa naissance, l'ordinateur a calculé que Monsieur X est Gémeaux ascendant Poissons. Or, il fallait pour ce poste (le patron de l'entreprise avait été très ferme sur ce point), un Sagittaire, un Lion, un Bélier, à la rigueur un autre signe mais avec Sagittaire, Lion ou Bélier à l'ascendant. C'était un patron moderne, qui lisait des revues d'astrologie, et qui avait lu cent fois que ces signes masculins, signes de force, annonçaient un caractère volontaire, organisateur, apte à diriger une équipe de représentants.

C'est Monsieur Y, Cancer ascendant Sagittaire, qui fut recruté. Sans doute était-il moins brillant que Monsieur X et Cancer n'était pas fameux, mais son ascendant correspondait aux idées du patron.

Ce qu'il ignorait, ce patron inspiré, c'est que Monsieur Y, passionné d'astronomie depuis son adolescence, avait acquis au fil des ans une grande familiarité avec les calculs astronomiques. Le temps sidéral, l'heure locale, les longitudes n'avaient plus de secrets pour lui. Il avait bien compris que l'ascendant des astrologues n'est rien d'autre que la partie du ciel qui se lève à l'Est à l'heure de votre naissance, et que par conséquent, un mensonge sur l'heure entraîne un mensonge sur l'ascendant. Quelques minutes de calcul griffonné sur l'envers d'un menu de restaurant lui permirent de devenir "ascendant Sagittaire" et d'être recruté. Son véritable ascendant était Balance (hésitation, indécision) mais son patron ne l'a jamais su.

Monsieur Y n'avait d'ailleurs qu'une idée assez vague de sa véritable heure de naissance. A la mairie, il avait été déclaré à 14 h. Mais sa mère prétendait que cela s'était passé au plus tard à 13h, tandis que sa tante se rappelait fort bien avoir entendu les trois coups de 15 h peu après sa naissance. Dans ces conditions, une heure de plus ou de moins n'avait pas grande importance. Deux ou trois heures non plus et ainsi de suite.

Depuis, Monsieur Y est devenu un excellent directeur commercial, et il lui arrive parfois de réfléchir en pensant à sa propre histoire. L'astrologie s'infiltré partout, et parvient à étendre son pouvoir avec l'appui des média, télévision en tête. La vieille guerre entre astronomes et astrologues semble tourner à l'avantage de ces derniers. Et pourtant l'astrologue ne sait rien du ciel, il ne le regarde jamais. Il ne cherche pas à comprendre. Il applique bêtement de vieilles recettes ou plutôt il fait tourner son logiciel qui les applique aussi bêtement mais beaucoup plus vite.

Mais revenons au petit calcul de Monsieur Y. Les ascendants se succèdent à l'horizon Est dans l'ordre bien connu du zodiaque, tandis que se déroule le temps sidéral. A chaque ascendant correspond une heure sidérale. Comme cette correspondance varie un peu suivant la latitude, on peut dresser un tableau comportant une colonne pour la moitié Nord de la France, et une pour la moitié Sud. La Loire, à Nantes, étant juste au milieu.

Tableau des temps sidéraux correspondant aux ascendants		
France SUD	ASCENDANT	France NORD
18h17m	Bélier	18h13m
19 26	Taureau	19 16
20 57	Gémeaux	20 41
23 03	Cancer	22 47
01 38	Lion	01 26
04 16	Vierge	04 12
06 54	Balance	06 58
09 33	Scorpion	09 44
12 10	Sagittaire	12 26
14 24	Capricorne	14 40
16 02	Verseau	16 13
17 14	Poissons	17 18

Voici donc les étapes du calcul.

1 - Relever dans le tableau le temps sidéral (T.S.) correspondant à l'ascendant souhaité et au lieu de naissance (Nord ou Sud).

2 - Correction de longitude : à l'heure sidérale relevée dans le tableau, ajouter 16 minutes si le lieu de naissance se situe à l'Ouest d'une ligne Le Havre-Tarbes ; au contraire, retrancher 16 minutes si ce lieu se situe à l'Est d'une ligne Reims-Montpellier ; entre ces deux lignes, pas de correction.

3 - Calcul rapide mais suffisant du temps sidéral à minuit du jour de naissance (TSM)
Soit M le mois et J le jour :
 $TSM = 6h35m + 2h(M-1) + 4min(J-1)$
Ajouter 5 minutes pour une naissance en janvier ou février.

4 - Avec TS et TSM calculer HTU

$$HTU = TS - TSM$$

Comme d'habitude dans les problèmes horaires, ajouter ou soustraire 24 heures suivant le besoins du calcul.

5 - Ajouter 1 heure pour obtenir l'heure de nos horloges. Dans le cas d'une naissance antérieure à 1946 ou postérieure à 1976, il faudrait distinguer entre heure d'hiver (ajouter 1 heure comme précédemment) et heure d'été (ajouter 2 heures). Pour déterminer votre cas particulier, interrogez alors le minitel 36 16 BDL (pour Bureau des Longitudes).

Arrivé en 5, vous avez obtenu l'heure de naissance qui vous donne automatiquement l'ascendant choisi par vous. Vous êtes prêt à tromper tous les astrologues de France, y compris ceux des entreprises infectées par ce virus. Et même si ce n'est pas pour une embauche, c'est toujours amusant de tromper un astrologue.

Par un calcul très voisin, Monsieur Y aurait pu placer son Jupiter en maison 10 (très bon pour les entreprises). Il aurait même pu réunir un bon Jupiter et un bon ascendant. Il devenait la perle rare, irremplaçable. Tout cela en manipulant un peu son heure de naissance, dont Monsieur Y, de même que chacun de nous, se fiche comme de sa première chaussette.

P.Lerich
(Lille, juillet 1992)

Une date à retenir : 22 novembre 1992, l'Assemblée Générale du CLEA !!
à partir de 10 heures à l'Université Paris Sud, centre d'Orsay

LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

DES NOUVELLES DU RAYONNEMENT COSMOLOGIQUE DE FOND DE CIEL

Depuis la découverte par hasard du rayonnement cosmologique de fond de ciel (noté ci-après RCFC) en 1965, par Penzias et Wilson, de nombreuses observations ont été réalisées pour mesurer l'intensité de ce rayonnement à différentes longueurs d'onde et obtenir ainsi son spectre. Celui-ci constitue la signature de l'origine du rayonnement ; en particulier, la distribution spectrale suivant la loi de Planck décelée très rapidement après la découverte est celle d'un rayonnement thermique de corps noir caractérisé par un seul paramètre, la température T . L'intérêt cosmologique de ce rayonnement, résidu attendu de l'histoire passée de notre Univers dans le scénario du big-bang et témoin d'une époque inaccessible par d'autres moyens, explique que l'on s'attache à mesurer avec précision les écarts éventuels du spectre du RCFC par rapport à celui d'un pur corps noir. En effet, de tels écarts doivent permettre de cerner les éventuelles fluctuations primordiales de la densité de matière conduisant à la formation des galaxies et des grandes structures de l'Univers.

Les observations ne sont possibles depuis le sol que pour des longueurs d'onde supérieures à quelques mm; pour des longueurs d'onde plus courtes, le rayonnement est absorbé par l'atmosphère terrestre et seule les observations en ballon, fusée et satellite permettent d'explorer ce domaine du spectre.

L'ensemble des mesures récentes de 1985 à 1989, couvrant un domaine de longueur d'onde allant de 50 cm à 1 mm environ, s'accordaient sur une valeur moyenne $T = (2,77 \pm 0,01)$ kelvins, sans écart notable par rapport à un pur corps noir. Par contre, des observations en ballon effectuées par un groupe américano-japonais à des longueurs d'onde plus courtes que 1 mm, indiquaient un excès d'intensité, correspondant à $T = 3-3,1$ kelvins. Ce résultat impliquait une énorme distorsion du RCFC et de très belles théories cosmologiques virent alors le jour !

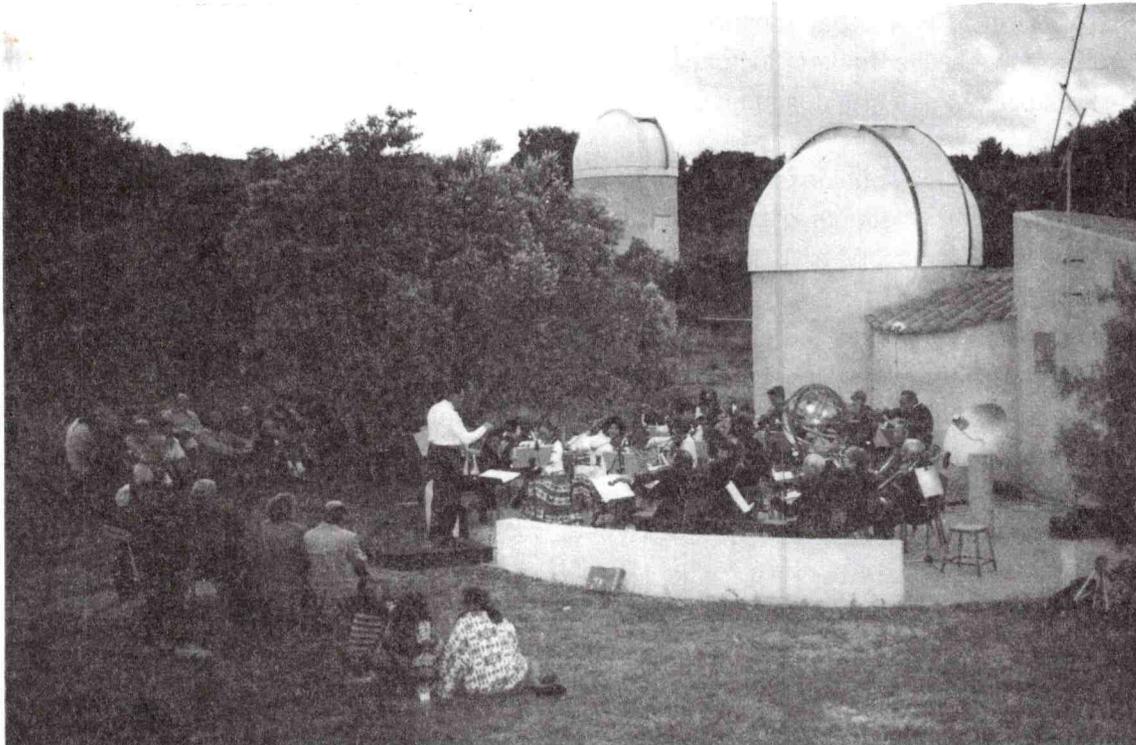
En fait deux expériences hors atmosphère, à très haute sensibilité ont infirmé ce résultat en 1990. Il s'agit du satellite COBE (Cosmic Background Explorer) de la Nasa lancé par une fusée Delta en novembre 1989 et d'un instrument canadien, COBRA, qui a mesuré le RCFC pendant 9 minutes au cours d'un vol en fusée, en janvier 1990. Ces deux expériences ont confirmé avec une précision extrême, que le spectre du RCFC était bien celui d'un corps noir à une température $T = 2,736$ kelvins, avec une isotropie extrême. Le domaine exploré par ces deux expériences allait de 0,5 à 10 mm pour COBE et 0,6 à 3,3 mm pour COBRA. A noter que le maximum d'émission du RCFC se produit à 2 mm environ. La mission de COBE s'est poursuivie depuis 1990, en particulier avec les deux systèmes détecteurs destinés à mesurer les caractéristiques du RCFC. Il s'agit d'une part, du spectrophotomètre absolu en infrarouge lointain qui compare le spectre du RCFC à celui d'un corps noir de référence dans une gamme de longueurs d'onde de 1 cm à 0,1 mm et d'autre part, de radiomètres différentiels qui mesurent la différence entre les intensités reçues dans deux directions différentes du ciel sur un champ d'ouverture angulaire 7° . L'important résultat annoncé au printemps 1992, après avoir totalisé une énorme moisson de données, concerne la limite d'isotropie enfin décelée du RCFC. COBE vient en effet de mesurer pour la première fois des fluctuations de $(30 \pm 5) \cdot 10^{-6}$ K à l'échelle angulaire de 10° environ. L'amplitude relative de ces fluctuations est de l'ordre de $1,3 \cdot 10^{-5}$, ce qui est une valeur faible, très proche de la limite minimale acceptable pour les modèles les plus courants de formation des structures de l'univers par instabilité gravitationnelle. COBE conforte donc cette approche cosmologique ; il sera décisif dans le futur d'atteindre des échelles angulaires plus petites pour permettre la comparaison avec les structures effectivement observées.

CHRONIQUE DU CLEA - COURRIER DES LECTEURS

LA SCIENCE EN FÊTE - 12-13-14 juin 1992

Nombreux ont été les membres du CLEA à représenter les activités astronomiques au cours des manifestations organisées dans le cadre de l'initiative nationale du Ministère de la Recherche et de l'Espace, "La science en fête". Quelques exemples connus, mais il y en a beaucoup d'autres :

- Aix en Othe, autour du planétarium, les ciels de la Guadeloupe et d'Aix en Othe par Daniel Toussaint.
- OMEGA et Ardennes Astronomie, exposition et conférence-débat sur le Soleil et les étoiles par Claude Mathieu.
- Association Narbonnaise d'Astronomie Populaire (ANAP) a fêté ses dix années d'activité en organisant pour la science en fête un concert devant les coupoles de son observatoire:



TOURISME ASTRONOMIQUE

Notre collègue André Simon nous invite à visiter la fresque stellaire réalisée par six bénévoles de Pluzunet (22140), n'y manquez pas si vous passez par les Côtes d'Armor.

NOMBRE D'OR ET NOMBRE D'OR

Lecteur des Cahiers, Denis Savoie, du Palais de la Découverte, a regretté que dans son article sur le cycle de Méton, Paul Perbost ait repris la légende de l'inscription en lettres d'or "235 lunaisons = 19 années solaires".

Légende, dit-il. Le nombre d'or est une expression relative au comput ecclésiastique dont la plus ancienne mention remonterait à Bède le Vénérable (VIII^{ème} siècle). Neugebauer dans son classique "Les sciences exactes dans l'Antiquité" écrit : "Ce nombre était appelé d'or parce que, selon le mot d'un savant du XIII^{ème} siècle, il l'emporte sur tous les autres rapports liés à la Lune comme l'or l'emporte sur les autres métaux."

Un autre lecteur, qui signe sa lettre X.III, nous écrit : "On ne pouvait, année après année, graver sur le socle de la statue un nombre variant de 1 à 19. S'agirait-il, sur la statue, d'un autre nombre d'or, la "divine proportion", la racine positive de $x^2 - x - 1 = 0$ et dont les approximations rationnelles font apparaître la suite de Fibonacci ?

$3/2 < x < 5/3$ ou $8/5 < x < 5/3$ ou $8/5 < x < 13/8$ ou...

LES PUBLICATIONS DU C. L. E. A.

Le CLEA publie depuis quatorze ans son bulletin trimestriel de liaison, Les Cahiers Clairaut. On trouvera, page 4 de la couverture, les conditions d'abonnement et les conditions d'adhésion au CLEA.

Toutes les publications du CLEA sont conçues pour l'information des enseignants et pour les aider dans leur enseignement de l'astronomie.

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1. L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps (20F-25F)
2. Le mouvement des astres (25F-30F)
3. La lumière messagère des astres (25F-30F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (30F-35F)
5. Renseignements pratiques, bibliographie pour l'astronomie (25F-30F)
- 5bis. 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)

COURS POLYCOPIES D'ASTROPHYSIQUE (M3.C4 de l'Université Paris XI-Orsay)

- I. Astrophysique générale (30F-35F)
- II. Mécanisme de rayonnement en astrophysique (30F-35F)
- III. Etats dilués de la matière : le milieu interstellaire (30F-35F)
- IV. La structure interne des étoiles (30F-35F)
- V. Relativité et cosmologie (30F-35F)
- S. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil (30F-35F)

LES FICHES PEDAGOGIQUES DU CLEA, numéros hors série des Cahiers Clairaut

- HS1. L'astronomie à l'école élémentaire (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
HS2. La Lune, niveau collège 1 (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
HS3. Le temps, les constellations, niveau lycée (60F-68F) (40F-48F pour abonnés)

TRANSPARENTS ANIMES POUR RETROPROJECTEUR

- T1. Le TranSoLuTe (les phases de la Lune et les éclipses) (50F-55F)
- T2. Les fuseaux horaires (50F-55F)
- T3. Les saisons (50F-55F)

DIAPPOSITIVES (séries de 20 vues + livret de commentaires) chaque 50F-55F

- D1. Les phénomènes lumineux
- D2. Les phases de la Lune
- D3. Les astres se lèvent aussi
- D4. Initiation aux constellations
- D5. Rétrogradation de Mars

LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE

Grasse 1983 (58F-66F) ; Formiguères 1984 (65F-75F)
Formiguères 1985 (100F-110) ; Formiguères 1986 (100F-110F)

PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

- ST1. Catalogue des étoiles les plus brillantes (75F) ; édition sur disquette
120 F les deux disquettes.
- ST2. Deux séries de cartes postales : CP1. le système solaire ; CP2 Nébuleuses
et galaxies. Chaque série 23F

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

Chèques à l'ordre du CLEA envoyés au secrétaire :
Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD - Tél (1) 47 71 69 09

LE C.L.E.A. et LES CAHIERS CLAIRAUT

Conditions d'adhésion et d'abonnement pour 1992 :

Cotisation simple au CLEA pour 1992	25 F
Abonnements simple aux Cahiers n°57 à 60	100 F
Abonnement aux Cahiers (n°57 à 60) ET cotisation au CLEA pour 1992	120 F
Contribution de soutien (par an)	30 F
Le numéro des Cahiers Clairaut (port compris)	35 F

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

A L'INTENTION DES NOUVEAUX ABONNES, onze fascicules thématiques ont été édités ; ils réunissent des articles publiés dans les Cahiers Clairaut. Tout nouvel abonné reçoit, en témoignage de bienvenue un fascicule à choisir dans la liste suivante :

FA. L'astronomie à l'école élémentaire	FG. Astronomie et informatique
FB. L'astronomie au collège	FH. Articles de physique
FC. Construction d'une maquette	FJ. Articles d'astrophysique
FD. Construction d'un instrument	FK. Histoire de l'astronomie
FE. Réalisation d'une observation	FL. Interprétation d'un document d'observation
FF. Les potins de la Voie Lactée	

COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

- C1. Collection complète du n°1 au n°56 (740F-800F)
- C88. C89. Collection 1988 ou 1989 (chaque 80F-90F)
- C90. C91. Collection 1990 ou 1991 (chaque 90F-100F)

Adresser commandes et inscriptions au secrétaire du CLEA :
Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD
en joignant à votre envoi le chèque correspondant à l'ordre du CLEA.

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff
Dépot légal : 1^{er} trimestre 1979
Numéro d'inscription CPPAP : 61660