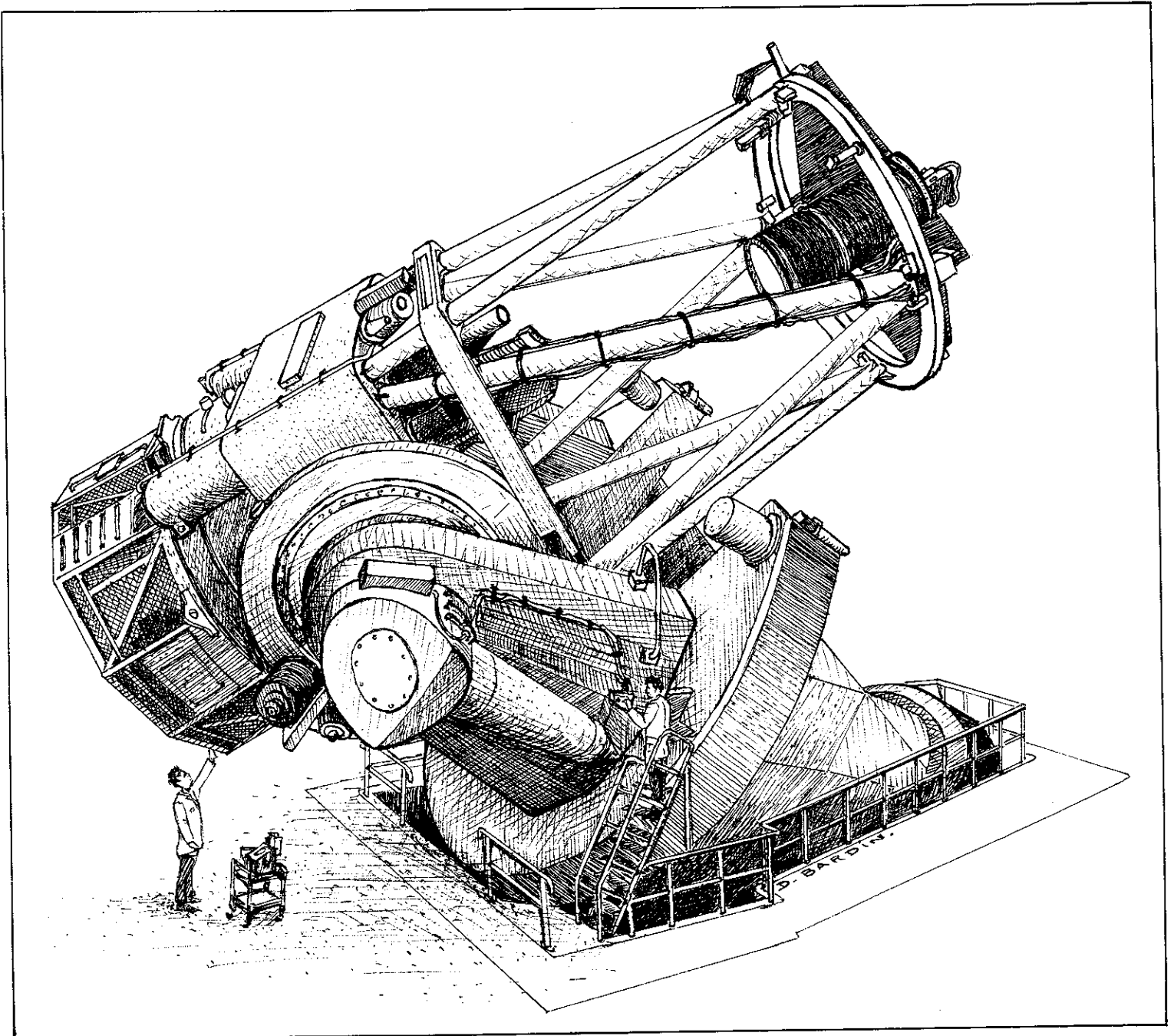


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 47 - AUTOMNE 1989 - VENDEMIARE 198

ISSN 0758-234 X

## Le CLEA - Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement 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'école normale. 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 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 de la couverture.

### Bureau du CLEA pour 1989

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Présidente : Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents : Agnès Acker

Alain Dargencourt

Marie-France Duval

Hubert Gié

*Jean Ripert*

Catherine Vignon

Secrétaire-trésorier : Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 SAINT CLOUD  
tél (1) 47 71 69 09

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

## LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 47 Automne 1989

	page
Les noyaux actifs de galaxies.....	2
Stage "Histoire de l'Astronomie" à Orsay.....	7
Stellotoposcope .....	8
Rencontres Européennes sur l'Astronomie et l'Espace .....	12
Potins de la Voie Lactée: Voyager 2, douze ans après .....	13
Chronique du CLEA .....	14
Astronomie à la Réunion .....	15
Rhapsodie à la mémoire de M. Hulín .....	17
Actualité et Avenir de l'Enseignement de l'Astronomie .....	20
Voir des choses dans le ciel .....	20
Logiciels d'Astronomie .....	24
Comment trouver le rayon de l'orbite géostationnaire ? .....	25
A la découverte des constellations d'hiver .....	26
L'astrolabe planisphérique .....	30
Vision plane des mouvements célestes .....	31
L'astrolabe du débutant .....	37
Lectures pour la Marquise .....	38
Photographie à longue pose au T60 .....	41
Publicité pour le CLEA et les Cahiers Clairaut .....	44

### EDITORIAL

Nous ouvrons ce numéro avec un bel article de Suzy Collin sur les noyaux actifs de galaxies. Ceux qui ont eu la chance de l'entendre à l'Assemblée Générale de 1987 retrouveront avec plaisir l'intérêt qu'elle porte à la fois à la physique et à l'histoire des idées. Merci à elle pour sa fidélité au CLEA.

Succès et échec de la recherche spatiale ont fait la une de l'information à la fin de l'été. Voyager 2 réussit encore à nous émerveiller, 12 ans après son lancement. On lira dans ce numéro le Potin de la Voie lactée que Lucette Bottinelli lui a consacré. Par contre, HIPPARCOS n' a pas su trouver son orbite géostationnaire, au vrai désespoir de tous ceux qui travaillent depuis des années à la réussite de cette mission et en attendaient tant. Heureusement, à l'heure où nous mettons ce numéro sous presse, il est presque acquis que l'Agence Spatiale Européenne construise un second satellite. Cela prendrait deux ans...

Notre réflexion sur l'enseignement de l'astronomie se poursuit. Nous publions dans ce numéro une expérience passionnante menée par Mireille Hibon en maternelle et deux fiches proposées à la réflexion des jeunes visiteurs du planétarium de Hyères, que nous a communiquées Jean Ripert. Les participants du colloque CLEA d'avril dernier avaient été fortement impressionnés par le "stellotoposcope" de Claude Piguét. La rédaction remercie Claude d'avoir accepté d'expliquer aux lecteurs des Cahiers ce que c'est, et à quoi ça peut servir ! Parallèlement, la discussion sur l'astrolabe autour du riche exposé de Cécile Schulman s'était conclue par une requête que Cécile a bien voulu entendre. Elle nous a donné une série d'articles dont nous publions la première partie dans ce numéro.

L'enseignement de l'astronomie reste inséparable de la physique; nous nous réjouissons des bonnes relations du CLEA avec l'Union des Physiciens et la Société Française de Physique, qui nous ont autorisés à reproduire la "rhapsodie" que Jean-Marc Lévy-Leblond a écrite à la mémoire de Michel Hulín.

Le CLEA reste toujours actif, même en été. En témoignent dans ce numéro l'article de Christian Mossler sur une mission CLEA au Pic du midi, l'été 1988 et la relation par la rédaction d'un stage PAF à la Réunion. Nous avons reçu aussi de très bons échos de l'Université d'été du CLEA animée par Marie-France Duval au col Bayard. Nous espérons pouvoir en parler davantage dans le prochain numéro.

Notez dans votre agenda la date du 19 novembre: ce sera celle de notre Assemblée Générale. Nous espérons y recevoir à nouveau le professeur Roland Szostak qui travaille à une "surprise" pour les participants. Il y aura peut-être une autre surprise...

Bonne rentrée à tous.

La Rédaction

## LES NOYAUX ACTIFS DE GALAXIES: 25 ANNEES DE RECHERCHES, UN FUTUR PROMETTEUR

### I. Le Passé

#### I-1 Introduction.

Lorsque parut le 1er Juillet 1964 dans l'Astrophysical Journal un court article de Greenstein et Schmidt intitulé "The quasi-stellar sources 3C273 and 3C48", bien peu encore se doutaient que l'astronomie des Quasars et des Noyaux Actifs de Galaxies aurait un essor aussi fulgurant, et que 25 ans après ils seraient l'objet chaque année de plusieurs congrès, de centaines d'articles, et de multitudes de nuits - ou de jours - d'observation.

L'engouement suscité par les quasars tient à plusieurs causes. Découverts grâce aux perfectionnements d'une technologie nouvelle - la radioastronomie -, et restés jusqu'à ces derniers temps les objets les plus lointains observables dans l'Univers, ils suscitèrent d'abord l'espoir de livrer les secrets de sa géométrie et de sa dynamique. On sait que cet espoir fut rapidement déçu, par leur refus de se conduire comme de bonnes "chandelles standard" et de se laisser facilement classer, et par leur forte tendance à être beaucoup plus nombreux et surtout plus lumineux dans le passé qu'actuellement. Ils n'en demeurent pas moins les objets les plus lumineux de l'Univers, et la recherche de la cause de cette luminosité est à l'origine d'une sorte "ère non nucléaire" car il est clair maintenant que la gravitation constitue leur principale ressource énergétique.

Il est curieux de constater que l'étude de ces "monstres" que sont les quasars amena les astronomes à s'intéresser à des objets moins spectaculaires, les noyaux de galaxies en général et les radio galaxies, et à y mettre en évidence exactement les mêmes mécanismes, alors que certains précurseurs comme Zwicky, Seyfert, Ambartsumian, puis plus tard Burbidge et Hoyle, n'avaient pas été entendus lorsqu'ils prêchaient que des phénomènes hautement énergétiques se produisaient dans ces objets.

Car si les quasars sont intéressants, ils le sont au même titre que les noyaux de galaxies ou les radio galaxies, par une remarquable unicité sous-jacente dont l'évidence s'imposa à mesure que les observations s'affinèrent, et que recouvre une extraordinaire diversité d'apparences et de phénomènes. Il est maintenant clair que si un "diagramme de Hertzsprung-Russell" des Noyaux Actifs de Galaxies (que nous appellerons NAG pour simplifier, incluant les quasars sous ce sigle) n'a pas été encore mis en évidence, on tend vers une conception où trois paramètres essentiels jouent un rôle, et trois seulement: la masse centrale, - que l'on admet généralement être sous la forme d'un trou noir supermassif - le taux d'accrétion de gaz, et l'orientation de l'axe de rotation du système par rapport à la ligne de visée.

De par leur diversité phénoménologique, les NAGs constituent un lieu privilégié d'étude pour l'astrophysicien. On y trouve pratiquement tous les processus connus de rayonnement: rayonnements non thermiques, synchrotron dans les domaines radio et optique, cyclotron ou de bremsstrahlung comptonisé et Compton inverse dans le domaine X, rayonnement gamma impliquant des créations de paires ou des processus encore plus énergétiques; de même toutes sortes de rayonnements thermiques y sont observés, corps noir semblable à un rayonnement d'étoile très chaude dans l'ultraviolet, rayonnement continu et de raies atomiques provenant de gaz dilués relativement froids dans le visible, raies dans le domaine X émises par des gaz plus chauds, enfin rayonnements infrarouge et millimétrique de poussières et de molécules. On a invoqué également l'effet Cherenkov et l'effet Raman, sans oublier des processus plus exotiques comme les sources tachioniques et la "fatigue" de la lumière. Outre les mécanismes de rayonnement et son transfert, les théories physiques mises en oeuvre pour expliquer les conditions des milieux émissifs incluent la Relativité Générale, l'hydrodynamique et la magnétohydrodynamique, la physique nucléaire, l'évolution stellaire, la théorie des atmosphères, etc...

#### I. 2. Historique

Un bref rappel historique est intéressant, car il montre, dans ce domaine peut-être plus que dans d'autres, la démarche cahotique de la science, l'influence des querelles d'école, l'apport des technologies nouvelles, la difficulté de séparer l'important du contingent, la nécessité des collaborations entre disciplines.

##### I. 2. 1. la préhistoire: les quasars sont là, mais on ne le sait pas!

On peut situer les débuts de l'histoire des NAGs en 1943, lors de la publication de la thèse de K. Seyfert, intitulée modestement "nuclear emission in spiral nebulae". Les 6 galaxies qu'il y décrivait se distinguent par un noyau brillant d'aspect stellaire, produisant un continu très bleu, sur lequel se superposent des raies en émission identiques à celles observées dans les nébuleuses planétaires, mais beaucoup plus larges. Seyfert suggérait déjà que des phénomènes énergétiques se produisent dans ces noyaux. Ces galaxies suscitèrent peu d'intérêt et ne furent guère étudiées au cours des 20 années suivantes. Mentionons le travail de Woltjer qui suggéra en 1959 que l'élargissement des raies pouvait provenir de mouvements de rotation rapide. Dans le même temps Zwicky commençait une étude de galaxies compactes, dont un bon nombre s'avèrèrent par la suite être des "galaxies de Seyfert" et quelques unes de véritables quasars, et clamait que la compacité d'un objet est fondamentale dans son évolution. Ambartsumian, lui, prônait que la couleur ultraviolette est la marque de phénomènes énergétiques, et plaçait l'origine des galaxies au sein d'un noyau d'où la matière est violemment éjectée. Ces idées le conduisirent au début des années soixante à lancer Markarian dans la confection d'un catalogue contenant actuellement plus d'un millier de galaxies dont, comme celui de Zwicky, un bon nombre sont des galaxies de Seyfert. Notons que les catalogues de Zwicky et de Markarian s'avèrent

être des mines d'objets intéressants, tant sur le plan de l'"activité des noyaux", sujet de cet article, que sur celui des galaxies à "flambées d'étoiles".

Entre temps le développement de la radio astronomie amena à la découverte en 1954 de la première radio-galaxie, Cygnus A, source radio la plus brillante du ciel après le Soleil et Jupiter, dont le rayonnement est supérieur à  $10^{45}$  ergs/s (100 fois notre Galaxie dans le domaine optique), ce qui en faisait la source la plus puissante du ciel connue à cette époque. Ce rayonnement radio est dû au processus synchrotron dont la théorie fut mise au point à la fin des années cinquante. Sa production implique la présence d'électrons ultra-relativistes et d'un champ magnétique. Cette découverte, suivie de celle de nombreuses autres galaxies qui, relativement raisonnables dans le domaine optique, ont une grande luminosité synchrotron radio, conduisit certains (Hoyle et Burbidge principalement) à se poser la question de l'origine des particules relativistes. Ils déduisirent que, dans l'hypothèse minimum d'une équipartition entre l'énergie magnétique et l'énergie des particules relativistes (dont un certain nombre doivent être des protons), l'énergie mise en jeu est de l'ordre de  $10^{61}$  ergs ou  $10^{62}$  ergs, égale à celle qu'une galaxie normale produirait en  $10^{11}$  ou  $10^{12}$  ans! Ils suggèrent donc que ces galaxies ont été à un moment dans leur existence le siège d'une explosion au cours de laquelle une gigantesque quantité d'énergie a été émise.

### I. 2. 2. Les années soixante: le problème est posé

En 1961 Sandage et ses collaborateurs annoncèrent à l'Assemblée Générale de l'UAI avoir pris le spectre de l'une des radio sources du catalogue de Cambridge, identifiée (mais non sans ambiguïté à cause de la taille des "boîtes d'erreurs" des radio sources à cette époque) à une étoile bleue de 16<sup>ème</sup> magnitude, 3C48, et avoir trouvé des raies très larges mais complètement inconnues. Deux ans plus tard, Hazard, profitant de plusieurs occultations par la Lune d'une autre radio source, 3C273, en détermina les coordonnées avec précision, ce qui permit à Greenstein et Schmidt d'en prendre le spectre à Palomar. Ils le trouvèrent semblable à celui de 3C48, avec de larges raies en émission à des longueurs d'onde inhabituelles, mais cette fois ils comprirent qu'il s'agissait de raies identiques à celles des nébuleuses planétaires, en particulier H $\beta$  et la raie interdite de [OIII] à 5007Å, mais décalées vers le rouge ("redshiftées", on ne peut guère éviter l'anglicisme!) de 16% pour 3C273 et de 37% pour 3C48. Dans leur article de l'Ap.J., Greenstein et Schmidt démontraient déjà que la seule hypothèse plausible est un redshift cosmologique, qui reporte ces objets à une distance de l'ordre de  $10^9$  pc, et leur confère une luminosité de plus de  $10^{46}$  ergs/s. On les appela "Quasi Stellar Objects", à cause de leur aspect stellaire sur les plaques photographiques, et cette appellation se trouva bientôt contractée en "Quasars".

Il est assez intéressant (ou plutôt triste!) de constater que, plusieurs mois avant la publication de l'article de Greenstein et Schmidt, Zwicky s'était vu refuser par l'Ap.J. un article sur les galaxies compactes dans lequel il décrivait un catalogue de sources dont plusieurs sont de véritables quasars. Cet article fut en définitive publié ... dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.

Tandis que s'effectuait par des moyens variés la découverte de nombreux autres quasars (par l'identification des radio sources et par l'excès d'ultraviolet, puis dans les années soixante dix par les photographies avec prisme objectif), les études allèrent bon train. Le premier des "Texas meetings" qui se renouvèleront à partir de ce moment tous les deux ans se tint dès Décembre 1964, pour faire le point sur la question. Très rapidement (1965) on découvrit la variabilité du continu radio à courte longueur d'onde et du continu optique (il suffit de se reporter aux plaques de Harvard où 3C273 est recensée depuis un siècle comme une étoile variable de type inconnu, et montre des variations stochastiques d'une magnitude en quelques mois), qui impliquent des dimensions plus petites que le mois lumière. Ces dimensions très petites (qui diminueront jusqu'à atteindre quelques heures lumière lorsqu'on observera dans le domaine X) jointes à la luminosité très élevée firent douter certains de l'"hypothèse cosmologique" et la "controverse du redshift" commença: pour les tenants du redshift non cosmologique, les quasars sont des objets proches dont le redshift est dû à une cause physique encore inconnue. Cependant les images profondes (en particulier obtenues avec la Caméra Electronique) permirent de découvrir des galaxies voisines des quasars et ayant le même redshift, et surtout une galaxie autour de chaque quasar, du moins pour les plus proches pour lesquels cette observation est possible. Il s'imposa alors l'idée que les quasars sont hébergés par des "galaxies hôtes" dont ils constituent simplement le noyau dans une phase particulièrement lumineuse. Récemment la détection dans plusieurs quasars de la molécule CO, avec les deux pics caractéristiques de la rotation d'une galaxie spirale, a permis de confirmer définitivement cette hypothèse.

Après la découverte des quasars, l'intérêt pour les galaxies de Seyfert s'était trouvé vigoureusement relancé, et les observations ultérieures, en particulier dans les domaines spatiaux, ne firent que confirmer la similitude des deux types d'objets, avec une différence de luminosité d'un facteur 100 ou 1000. Toutefois la découverte de quasars intrinsèquement faibles et de noyaux de galaxies de Seyfert très lumineux permit d'établir l'existence d'une complète continuité, la différence étant seulement le résultat d'une sélection observationnelle. En effet, la fonction de luminosité des quasars en fonction du redshift montre une très forte évolution cosmologique, que l'on imputa d'abord à une diminution de leur densité par unité de covolume au cours du temps (maintenant on pense plutôt qu'il s'agit d'une diminution de la luminosité). Les quasars étant plus nombreux et plus lumineux dans le passé sont découverts surtout aux grands redshifts, tandis que les galaxies de Seyfert, moins lumineuses, sont inobservables à de grandes distances (ce n'est plus le cas maintenant) et sont découvertes seulement dans notre environnement proche. Notons que la fonction de luminosité des galaxies de Seyfert est bien celle que l'on attendrait en extrapolant la fonction de luminosité des quasars à un redshift nul, ce qui est une confirmation de supplémentaire de l'hypothèse cosmologique.

### I. 2. 3. Les années soixante dix: les idées se mettent en place

Au début des années soixante dix, on découvrit par interférométrie VLBI, à l'intérieur des quasars et des noyaux des radio galaxies (car elles ont un noyau, comme pratiquement toute les galaxies) des sources radio compactes d'un rayon de quelques années lumière dont la structure et le flux varient au cours du temps, et qui semblent se déplacer dans certains cas avec

des vitesses supérieures à celle de la lumière, du moins si l'on suppose ces objets à leur distance cosmologique. Bien que ces sources se trouvent aussi bien dans de simples radio galaxies que dans des quasars, cette découverte relança la controverse du redshift, alors qu'elle résoud en fait le problème de la "catastrophe Compton" soulevé par la courte échelle de temps de la variabilité et l'observation d'un spectre synchrotron self absorbé. (Explication: le petit diamètre déduit de la variabilité dans la région self absorbée du spectre implique un champ magnétique faible; le fait que le rayonnement synchrotron soit self absorbé implique une forte densité d'énergie radiative synchrotron; la densité d'énergie magnétique est donc inférieure à la densité d'énergie radiative et l'émission Compton doit dominer, ce qui signifie que les photons radio sont diffusés par les électrons ultra-relativistes dans les domaines UV puis Gamma et ne devraient pas être observés. En supposant une expansion des sources à une vitesse très proche de celle de la lumière - un facteur de Lorentz  $\Gamma$  supérieur à l'unité - on résoud le problème car l'échelle de temps de la variabilité est alors sous-estimée par un facteur  $\Gamma$ . L'expansion relativiste est compatible avec l'idée de sources éjectées avec une vitesse très voisine de celle de la lumière qui, à leur tour, permettent d'expliquer - par un simple effet de projection et à cause de la vitesse finie de la lumière - l'observation de vitesses apparentes superlumineuses.) Par la suite on observa qu'à différentes échelles - depuis une année lumière jusqu'à plusieurs millions d'années lumière - les cartes radio ressemblent à des poupées gigognes emboîtées, ce qui indique l'existence d'une direction privilégiée d'éjection des particules relativistes se maintenant pendant toute la durée de la vie des radio sources, c'est à dire au moins pendant  $10^7$  ans. Dans la plupart des cas un "jet" radio reliant les sources compactes à celles de très grande échelle porte témoignage de cette direction privilégiée et de la relation entre les régions les plus centrales du noyau et les régions les plus lointaines de la radio galaxie ou du quasar.

Les observations X et Gamma effectuées dans les années soixante dix et quatre vingt (principalement avec Uhuru, Cos B, HEAO1 et 2, puis Exosat), dans le domaine infrarouge avec IRAS pour les plus récentes, et récemment dans le domaine millimétrique, permirent d'établir que la distribution spectrale d'un AGN prototype - qu'il soit radio émetteur ou non - s'étend depuis le millimétrique jusqu'aux X durs avec une loi de puissance d'indice voisin de l'unité, et présente des "bosses" dans l'infrarouge proche et surtout dans l'ultraviolet lointain. L'énergie est donc rayonnée avec une efficacité pratiquement comparable dans 10 décades de longueur d'onde, et la majeure partie de la puissance se trouve probablement dans le domaine UV- X mous d'une part, et dans celui des X durs et des Gamma d'autre part.

Enfin une dernière observation est à ajouter à cette panoplie, et c'est peut-être la plus importante. Les photographies profondes obtenues au cours de ces dernières années ont montré que la structure des quasars et des galaxies de Seyfert est très souvent perturbée par l'interaction avec une galaxie proche. L'activité semble donc non seulement liée à l'existence d'une concentration de masse au centre d'une galaxie, mais également à l'existence d'une masse à proximité et à celle d'une perturbation dynamique.

Concernant la nature du moteur des NAGs, diverses hypothèses ont été envisagées successivement.

Il faut d'abord se rappeler dans quel contexte ont été découverts les quasars. A la fin des années cinquante, la structure interne et l'évolution stellaire s'étaient imposées comme la plus remarquable des constructions théoriques, avec pour apogée l'explication de la genèse des éléments dans les coeurs des étoiles. Ce succès incita certains de ceux qui avaient contribué à son élaboration (B2FH en particulier) à élargir le champ d'application de cette théorie aux quasars, mais en remplaçant les simples étoiles par des "étoiles supermassives" de  $10^6$  masses solaires. La source d'énergie était donc les réactions nucléaires, mais rapidement il s'avéra que leur rendement n'était pas suffisant pour expliquer les objets plus lumineux, à moins d'invoquer des masses beaucoup plus grandes. Par ailleurs, comme ces étoiles sont hautement instables, il fallut les stabiliser en leur donnant une forte rotation ou un champ magnétique intense: ce furent les "pulsars géants" ou les "rotateurs géants", très à la mode après la découverte des vrais pulsars. Cependant l'absence de toute périodicité dans les variations conduisit, avec d'autres arguments, à les rejeter également.

Il y eut aussi les explosions de supernovae, au sein d'un amas dense d'étoiles, toujours dans la lignée d'une source nucléaire. Un des arguments utilisé pour les écarter est que la variabilité des objets les plus lumineux (et surtout la variabilité ultrarapide en X) implique l'explosion de milliers de supernovae en même temps. Les supernovae ne sont toutefois pas complètement abandonnées, surtout pour expliquer les galaxies de Seyfert, et encore maintenant quelques astronomes sont de chauds défenseurs de ce type de modèle.

Dès 64 toutefois Zeldovich et Salpeter, séparément, avaient suggéré que la source d'énergie pourrait être un Trou Noir supermassif. L'idée sera reprise en 1969 par Linden Bell et Rees, et ne cessera de s'imposer depuis comme la meilleure solution. Il est évident toutefois que rien ne prouve définitivement (et peut-être ne prouvera jamais) la validité de ce modèle, qui se limite pour le moment à être purement explicatif, mais non encore prédictif.

## II. Le Présent

### II.1. Le rappel des faits

Au début des années quatre vingt, on disposait donc concernant les NAGs d'un ensemble de faits ayant lentement émergé d'un écheveau embrouillé d'observations, et qui allaient permettre de bâtir un modèle:

- ces objets sont tous des noyaux de galaxies; or l'étude dynamique et celle du profil de luminosité des régions centrales des galaxies prouve l'existence d'une concentration d'étoiles dans le noyau, dépassant parfois  $10^9 M_{\odot}$ ; le phénomène NAG est donc lié à l'existence d'une grande concentration de masse au sein d'un fort potentiel gravitationnel,
- ils émettent une puissance considérable, depuis  $10^{43}$  ergs/s pour les Seyfert les plus faibles, jusqu'à  $10^{48}$  ergs/s pour les quasars les plus lumineux,

- leurs dimensions sont très petites, atteignant quelques heures lumière pour la source de rayonnement X,
- leur spectre s'étend sur 10 décades, et une grande proportion de la puissance est concentrée dans l'infrarouge, l'UV et l'X dur,
- ils contiennent du gaz à grande vitesse,
- ils émettent des particules relativistes dans une direction privilégiée dont la cohérence subsiste pendant au moins  $10^7$  ans.

## II. 2. Le modèle du Trou Noir supermassif: ses forces et ses faiblesses

Le modèle de l'accrétion par un objet compact, ou plus précisément par un Trou Noir supermassif, permet de rendre compte de l'ensemble de ces faits, et pour le moment aucun autre modèle ne le peut.

- l'accrétion sur un objet très compact est le mécanisme le plus efficace de conversion de la masse en énergie. Un taux de 5% est attendu autour d'un Trou Noir sans rotation et jusqu'à 40% autour d'un Trou Noir avec rotation. On peut le comparer aux quelques fractions de % des réactions nucléaires.
- Si l'énergie est produite par accrétion, la luminosité est limitée, du moins pour un processus stationnaire et si le gaz complètement ionisé, à une valeur appelée "luminosité d'Eddington", obtenue en égalant la force radiative à la force gravitationnelle:

$$\sigma_T L_{\text{Edd}} / (4\pi R^2 c) = M_{\text{TN}} m_p / (4\pi R^2), \text{ ou } L_{\text{Edd}} = 1.310^{47} (M/10^9 M_{\odot}) \text{ ergs/s}$$

ce qui signifie que le rayon caractéristique de production de l'énergie, voisin de 10 rayons gravitationnels ( $R_G = 2GM_{\text{TN}}/c^2 = 1.3 \cdot 10^5 M_{\text{TN}}/M_{\odot}$ ), est de l'ordre de  $10^{15}$  cm, soit quelques heures lumière pour  $M_{\text{TN}} = 10^9 M_{\odot}$ . Une telle masse est nécessaire pour obtenir une luminosité d'Eddington de  $10^{47}$  ergs/s, puissance d'un quasar moyen. Donc dimension et puissance rayonnée correspondent à ce qui est cherché.

- Dans un processus d'accrétion, l'énergie sera produite principalement dans 2 domaines:

- celui qui correspond à l'émission d'un gaz optiquement épais, donc dont la température satisfait à la relation  $\sigma T^4 = 3GM_{\text{TN}}M / (8\pi R^3)$ , correspondant à  $T \approx 10^5$  K pour une masse de  $10^9 M_{\odot}$  et une luminosité voisine d'Eddington. L'émission se situera donc dans l'UV lointain et aura un spectre voisin de celui d'un corps noir.

- celui qui correspond à l'émission d'un gaz optiquement mince virialisé, dont la température satisfait donc à la relation:  $kT/m_p = GM_{\text{TN}}/R$ , correspondant à  $T \approx 10^{11}$  ou  $10^{12}$  K. L'émission sera donc dans les X durs et les Gamma.

En définitive le spectre attendu est celui qui est observé.

- une direction privilégiée est créée, celle de l'axe de rotation du Trou Noir, qui est en fait celle de l'axe de rotation de la matière accrétée. Dans les premiers temps, l'accrétion sphérique était privilégiée. Depuis la mise en évidence de la bosse dans les UV et les X mous, c'est plutôt l'accrétion avec un moment angulaire qui est préférée, car cette bosse est identifiée avec le rayonnement d'un disque d'accrétion. La viscosité à l'intérieur du disque freine les particules qui perdent une partie de leur moment angulaire en rayonnant et finissent par pénétrer dans le Trou Noir. Par ailleurs, on montre qu'au voisinage immédiat du Trou Noir le disque s'épaissit et qu'une sorte de "tunnel" se forme le long de l'axe de rotation, dans lequel des particules relativistes peuvent facilement être accélérées et collimatées. Ce qui permet d'expliquer le jet et les sources radio compactes. Enfin il se produit au voisinage du Trou Noir et à la surface du disque des éjections de gaz à grande vitesse (vents).

- Enfin, "last but not least", on montre (en particulier par des simulations numériques faisant intervenir l'évolution stellaire) que le destin inéluctable d'un amas dense d'étoiles est d'évoluer - par collisions et coalescence - en un temps relativement court vers un Trou Noir supermassif. Celui-ci continuera à accréter étoiles et gaz tant qu'il s'en trouvera dans son champ gravitationnel.

Décrit très schématiquement, c'est le modèle développé actuellement par de nombreux groupes, et qui semble pouvoir expliquer les caractéristiques les plus importantes des NAGs. Ses points faibles sont de deux sortes:

- il faut, pour obtenir un Trou Noir de  $10^9 M_{\odot}$  en un temps de l'ordre de  $10^9$  ans - celui correspondant à l'époque après le Big-Bang où ont commencé à rayonner les quasars de plus grand  $z$  découverts jusqu'à maintenant (4.5) - supposer qu'à une époque encore plus reculée il existait un amas d'étoiles de  $10^9 M_{\odot}$  occupant environ  $1 \text{ pc}^3$ . Comment se serait formé un tel amas d'étoiles alors que les galaxies n'existaient vraisemblablement pas encore? Nul n'a encore la moindre solution à proposer.

- le problème de "l'alimentation" du Trou Noir est également un challenge. Là encore il faut postuler l'existence d'un amas dense d'étoiles autour du Trou Noir, à l'intérieur de son "rayon d'accrétion", c'est à dire du rayon au dessous duquel la gravitation est déterminée par le Trou Noir. Dans sa période de croissance, le Trou Noir absorbe ces étoiles qui sont brisées par effet de marée et transformées en gaz très chaud capable de rayonner efficacement avant de disparaître dans l'horizon du Trou Noir. Lorsque le Trou Noir dépasse quelques  $10^8 M_{\odot}$ , les étoiles ne sont plus brisées (car le "rayon de marée" à l'intérieur duquel les étoiles sont brisées croît comme  $M_{\text{TN}}^{1/3}$  tandis que celui du Trou Noir est proportionnel à  $M_{\text{TN}}$ ) et à moins que la densité de l'amas soit encore suffisante pour que les collisions entre étoiles assurent le relai de l'effet de marée, le Trou Noir n'accrètera plus de gaz, mais des étoiles entières, et cessera par conséquent de "rayonner".

En tout état de cause ce modèle est basé uniquement sur l'hypothèse d'une densité "locale" d'étoiles très importante, alors que nous avons vu que le phénomène NAG est lié également à l'environnement, et en particulier à l'interaction avec une galaxie perturbatrice. L'idée s'est donc imposée qu'une fois construit, c'est à dire ayant atteint une masse de  $10^9 M_{\odot}$ , ayant lancé ses premiers feux de quasar, et étant devenu éventuellement "invisible" par épuisement de son environnement immédiat, le Trou Noir étant potentiellement présent est capable d'être "réactivé" par un apport de gaz venant de l'extérieur. Ce gaz est effectivement disponible lorsque la galaxie hébergeant le Trou Noir passe à proximité d'une autre galaxie riche en gaz. Certains proposent que des instabilités dynamiques, liées à l'interaction, pourraient drainer le gaz vers le centre. Mais si l'on peut ainsi amener le gaz depuis quelques dizaines de kpc à environ un kpc du centre, on est loin de savoir le faire pénétrer jusqu'au coeur du noyau, jusqu'au rayon du Trou Noir. Comme le faisaient remarquer les auteurs d'un article récent, après tout il s'agit de rien



moins que de faire franchir 8 ordres de grandeur au rayon de ce gaz! En fait le problème est moins dramatique, car lorsque le gaz atteint un rayon d'environ un parsec ( $10^4 R_G$ ), il pénètre dans la sphère d'influence du Trou Noir, et là, par l'intermédiaire du disque d'accrétion par exemple, se trouve inéluctablement entraîné vers le Trou Noir.

### II. 3. Comment les différentes classes d'objets s'insèrent-elles dans le modèle?

Ce modèle est-il capable de rendre compte de diverses classes d'objets, dont le lien avec les quasars ne paraît pas toujours évident a priori? Car, comme il a été rappelé au début de cet article, les NAGs, s'ils ont effectivement à l'origine un phénomène commun, le cachent volontiers sous des apparences très diverses.

Les radio galaxies s'insèrent bien dans ce schéma. Elles ont une faible luminosité, mais manifestent une intense activité non thermique. Par ailleurs ce sont toujours des galaxies elliptiques géantes, caractérisées par conséquent par un potentiel gravitationnel central très grand. Dans certaines, la masse du noyau - qui n'est pas forcément celle du Trou Noir - est connue et supérieure à  $10^9 M_\odot$ . L'idée est donc que les radio galaxies contiennent dans leur noyau des Trous Noirs presque "morts" de grande masse qui auraient connu une période quasar, et que leur activité faible provient principalement de l'extraction de l'énergie de rotation du Trou Noir.

Pour ce qui est des noyaux des galaxies de Seyfert, on a vu qu'ils semblent être simplement des quasars de faible luminosité. Mais cette faible luminosité est-elle liée à un faible taux d'accrétion ou à une masse petite du Trou Noir? La question est d'importance car elle concerne toute l'évolution cosmologique des quasars, et le fait qu'ils aient été beaucoup plus lumineux dans le passé qu'actuellement. Malheureusement les observations ne permettent pas encore de savoir si les noyaux des galaxies de Seyfert rayonnent près de leur luminosité d'Eddington, comme c'est certainement le cas des quasars lumineux, ou avec une puissance 100 fois plus faible: la forme de la "bosse" du continu dans l'UV plaide pour la première hypothèse, et les largeurs des raies pour la seconde. Dans le premier cas la masse du Trou Noir dans les galaxies de Seyfert serait 1000 fois plus faible que dans les quasars (dans le rapport des luminosités), dans le deuxième elle serait presque du même ordre. Dans tous les cas, on penche plutôt pour des objets qui n'auraient *pas encore* connu leur maximum d'activité, mais les raisons de cette préférence sont assez obscures.

Voici encore deux exemples d'objets dont les propriétés sont à première vue fort différentes de celles des quasars standards, et qu'il est possible d'expliquer par de simples effets d'orientation:

1. les lacertides, découvertes en 1972, du nom de leur prototype B Lacertae, qui, seuls de tous les AGNs, ne montrent pas de raies en émission, ou seulement de très faibles raies. Ce sont des objets très lumineux, hautement variables et souvent fortement polarisés, présentant systématiquement des sources radio compactes intenses. Or si l'on admet - comme cela a été montré précédemment - que les électrons relativistes sont éjectés dans une direction donnée, il s'ensuit automatiquement un effet d'"aberration relativiste", c'est à dire une amplification du rayonnement dans la direction de l'axe du jet. Tout le rayonnement synchrotron - et nous avons dit qu'il s'étend jusqu'au domaine visible - sera donc amplifié lorsque l'observation est effectuée dans une direction proche de celle de l'éjection., contrairement aux rayonnements thermiques isotropes, comme les raies d'émission, qui disparaîtront alors sur le fond continu intense. La variabilité est accrue. D'autre part, comme l'amplification dépend également du facteur de Lorentz de la source, qui est grand lorsque la source est encore petite et n'a pas subi de ralentissement, les sources compactes seront intensifiées par rapport aux sources de plus grande échelle. Tout concorde donc pour conclure que les lacertides sont des quasars ou de simples radio sources, vues dans une direction proches de celle de l'éjection.

2. parmi les galaxies de Seyfert, il s'en trouve (qu'on appelle Seyfert de type 1) qui ont des propriétés semblables en tout point à celles des quasars, et d'autres, plus mystérieuses jusqu'à ces derniers temps, qui en diffèrent profondément. On les appelle des Seyfert de type 2, et elles se caractérisent par l'absence de raies très larges (elles présentent des raies de quelques centaines de km/s, tandis que dans les Seyfert 1 et les quasars la largeur des raies est de plusieurs milliers de km/s). Contrairement aux quasars et aux Seyfert 1, leur rayonnement visible est essentiellement d'origine stellaire, et leur rayonnement X est très faible. Depuis 1985 la nature de ces objets a été en partie comprise, car on a découvert en lumière polarisée dans plusieurs Seyfert 2 un spectre de raies identique à celui des Seyfert 1. On pense donc que les Seyfert 2 sont des Seyfert 1 dont les régions centrales (produisant le rayonnement X et les raies très larges) nous sont cachées par un disque épais de poussière et que nous les voyons, cette fois, dans la direction perpendiculaire à l'axe du disque. Le gaz chaud baignant l'ensemble diffuse la lumière centrale en la polarisant et nous en permet l'observation même dans la direction du disque. Il est probable toutefois que cette explication n'est pas suffisante pour rendre complètement compte du phénomène Seyfert 2, car certaines d'entre elles semblent être plus riches en poussières que les Seyfert 1, et le gaz émettant les raies est associé généralement à une radio source absente dans les Seyfert 1. Il est possible que les Seyfert 2 constituent une étape intermédiaire entre les NAGs et les galaxies à flambées d'étoiles (dont certaines, découvertes grâce au satellite IRAS, ont dans l'infrarouge une puissance comparable à celle des quasars et présentent des raies semblables à celles des Seyfert 2). Mais c'est un autre sujet sur lequel nous ne pouvons nous étendre.

Enfin il convient de terminer ce tour d'horizon avec des objets beaucoup moins spectaculaires qu'on nomme les "Liners" (Low Ionization Narrow Emission Region), auxquels se rattachent environ 30% des noyaux de galaxies. Comme leur nom l'indique, ces objets présentent un spectre de faible ionisation. Mais il est assez particulier et on pense qu'il est excité par un rayonnement ultraviolet non thermique. De là à imaginer que ces noyaux contiennent également un Trou Noir, il n'y a qu'un pas, qui est franchi par certains. Le pas suivant est alors de supposer que tous les noyaux de galaxies contiennent un Trou Noir, et présentent à des degrés divers une activité de "mini quasars" ou de "micro quasars". Le noyau de notre Galaxie en donne l'exemple: source X variable et rayonnement radio synchrotron proviennent d'une région de dimension inférieure à une



UA. Il reste à déterminer la masse de l'éventuel Trou Noir qui en serait la cause. On sait seulement pour le moment qu'elle est supérieure à  $100 M_{\odot}$ ...

### III. Le futur

L'avenir des NAGs se présente bien.

D'abord il reste un certain nombre de problèmes théoriques tout à fait fondamentaux à résoudre. Nous avons mentionné celui de l'origine de l'amas dense nécessaire pour une croissance rapide du Trou Noir, puis celui de l'approvisionnement du Trou Noir dans sa phase quasar. Mais de façon générale c'est toute la question de l'évolution cosmologique des NAGs, avec en filigrane la question de la relation avec la formation des galaxies, qui est encore un mystère et n'a pas encore reçu le commencement d'une réponse.

D'autres sujets relatifs à ce modèle sont en plein essor. Le problème des "jets", de leur accélération, et surtout de leur collimation sur des échelles de  $10^6$  pc. L'origine et la dynamique du gaz émettant les raies, qui ne sont pratiquement pas encore comprises. Les mécanismes d'émission dans les domaines infrarouge, X et Gamma, qui nécessitent des observations nouvelles. La physique du disque d'accrétion qui est encore très mal connue, et repose généralement sur des hypothèses "standard" concernant l'origine de la viscosité, qui sont loin d'être bien établies, etc...

Mais c'est probablement à travers les observations qu'on peut espérer les plus grands progrès dans les dix années à venir.

C'est d'abord à une meilleure connaissance de la distribution spectrale qu'on s'attachera. En effet, jusqu'ici seuls les objets les plus proches ont été observés jusqu'à maintenant dans les domaines infrarouge, UV, X et Gamma (dans ce domaine seulement 3 objets ont été détectés). Outre les percées qui seront effectuées par ISO et par les différents satellites X et Gamma, le Télescope Spatial va permettre de franchir un bond remarquable: songeons par exemple qu'il permettra d'observer des quasars de redshift 3 ou 4 (qui sont beaucoup trop faibles pour être observés par IUE) jusqu'à  $1200\text{\AA}$ , c'est à dire jusqu'à  $250\text{\AA}$  dans le système au repos! C'est un domaine quasi inconnu qui sera alors accessible, le domaine de rayonnement du disque d'accrétion, et celui où est peut-être émis l'essentiel de la puissance des NAGs.

L'étude de la variabilité, et surtout de la corrélation des variabilités entre différents domaines de longueur d'onde, et entre les raies et le continu, est un puissant moyen pour connaître la structure des régions émissives. Dans le domaine UV elles sont liées à la nature du disque d'accrétion. Déjà une fraction du temps du satellite IUE est dédié à l'observation régulière d'un objet, NGC 5548, ainsi que celui de divers télescopes optiques, et on peut penser que ce type de programme se généralisera.

Des études morphologiques à petite échelle, en radio grâce à la VLBI, et en infrarouge et visible grâce au Télescope Spatial et surtout dans un avenir plus lointain grâce au VLT, permettront certainement de préciser les liens entre les différentes composantes. A l'autre extrémité l'étude de l'environnement du noyau et de la galaxie hôte, grâce aux grands télescopes et, espérons le, à l'évolution des détecteurs qui ont déjà fait faire à ce sujet un bond spectaculaire au cours de ces dernières années, permettra certainement de préciser le rôle des interactions dans le fonctionnement des NAGs ainsi que leur liens avec la formation des galaxies.

Sur le plan cosmologique, peu abordé dans cet article, il est clair que l'apport du Télescope Spatial et des grands télescopes sera essentiel. La fonction de luminosité des quasars pourra être déterminée à des grands redshifts. On saura en particulier si toutes les galaxies géantes sont passées par un stade de quasar et de radio galaxie.

Tout un pan de l'étude des quasars a été laissé de côté ici: celui dans lequel les quasars servent de "sonde" du milieu intervenant (mirages gravitationnels, raies en absorption intergalactique). Il ne faut toutefois pas oublier que dans ce domaine également il est nécessaire de bien connaître les quasars, en particulier leur luminosité intrinsèque, leur propriétés de variabilité et la nature de leur environnement immédiat, pour éviter des interprétations erronées.

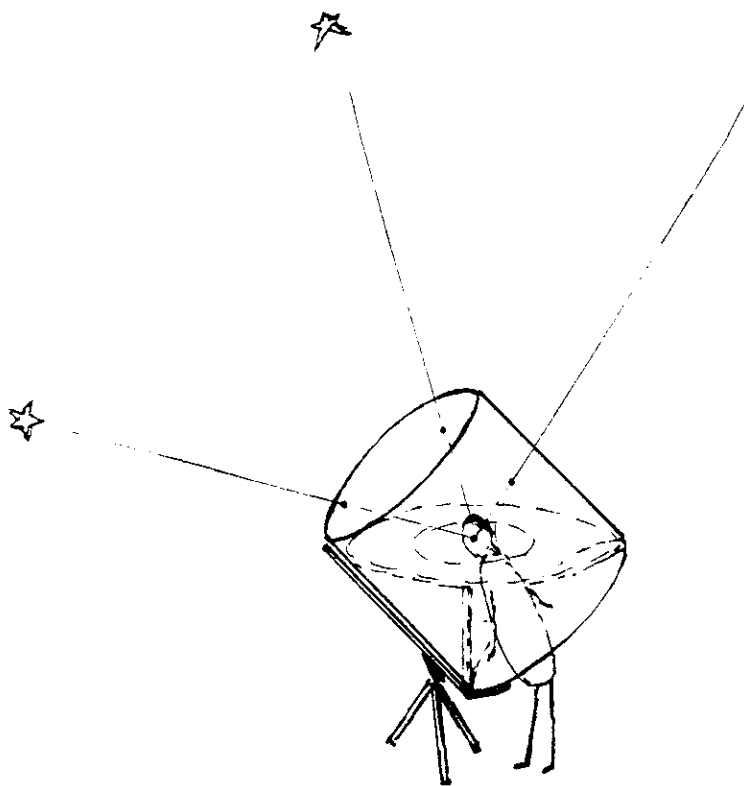
Suzy Collin

---

**STAGE "HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE" A ORSAY**

Inscrit au PAF de l'académie de Versailles sous le n° 52M160, ce stage comportera des conférences et des travaux sur documents organisés autour d'une réflexion sur des exemples de démarche historique: spectroscopie et classification stellaire; réactions thermonucléaires et structure des étoiles; état dégénéré et naines blanches, étoiles à neutrons et pulsars; mesure des distances et existence des galaxies; modèles du système solaire; cosmologie.

Le stage est aussi ouvert à des enseignants ne relevant pas de l'Académie de Versailles. Il se déroulera au laboratoire d'astronomie de l'Université Paris-Sud, au centre d'Orsay, Bât. 470, le lundi après-midi de janvier à avril 1990; pour tout renseignement, s'adresser à L. Gouguenheim, laboratoire d'Astronomie, Bât. 470, 91405 ORSAY CEDEX (tel. : 69 41 77 66)



## STELLOTOPOSCOPE

### Qu'est-ce qu'un STELLOTOPOSCOPE ?

*C'est un appareil de visée qui permet, à chaque instant de chaque jour de l'année de superposer le ciel réel et une carte du ciel transparente portant des indications lumineuses.*

### Comment est constitué un STELLOTOPOSCOPE ?

*Il comporte :*

- une carte du ciel transparente, de forme cylindrique permettant une visée dans tous les azimuts,*
- une monture équatoriale permettant de suivre le mouvement de rotation de la voûte céleste, en compensant les mouvements de la Terre,*
- un plan horizon qui délimite la portion de la carte du ciel visible au dessus de l'horizon au moment de l'observation et qui localise la position de l'œil de l'observateur au centre du cylindre.*

*L'œil étant correctement placé, l'observateur voit dans une même direction, l'étoile réelle et sa représentation sur la carte.*

Pourquoi avoir conçu et réalisé  
un STELLOTOPOSCOPE à forme cylindrique ?

Les cartes du ciel ordinaires sont dessinées à plat, dans un espace à 2 dimensions alors que l'observation se fait dans un espace à 3 dimensions, d'où des difficultés pour transposer les indications de la carte à la réalité du ciel.

La sphère armillaire, ou sa version moderne en plexiglass, est une représentation dans l'espace des mouvements des astres, mais sa forme sphérique est difficile à réaliser et encombrante pour le transport dès que son diamètre atteint plusieurs décimètres.

Pour ces raisons, il est pratiquement exclu de construire des sphères suffisamment grandes pour que l'observateur puisse placer l'oeil au centre et se trouver dans la situation réelle d'observation du ciel.

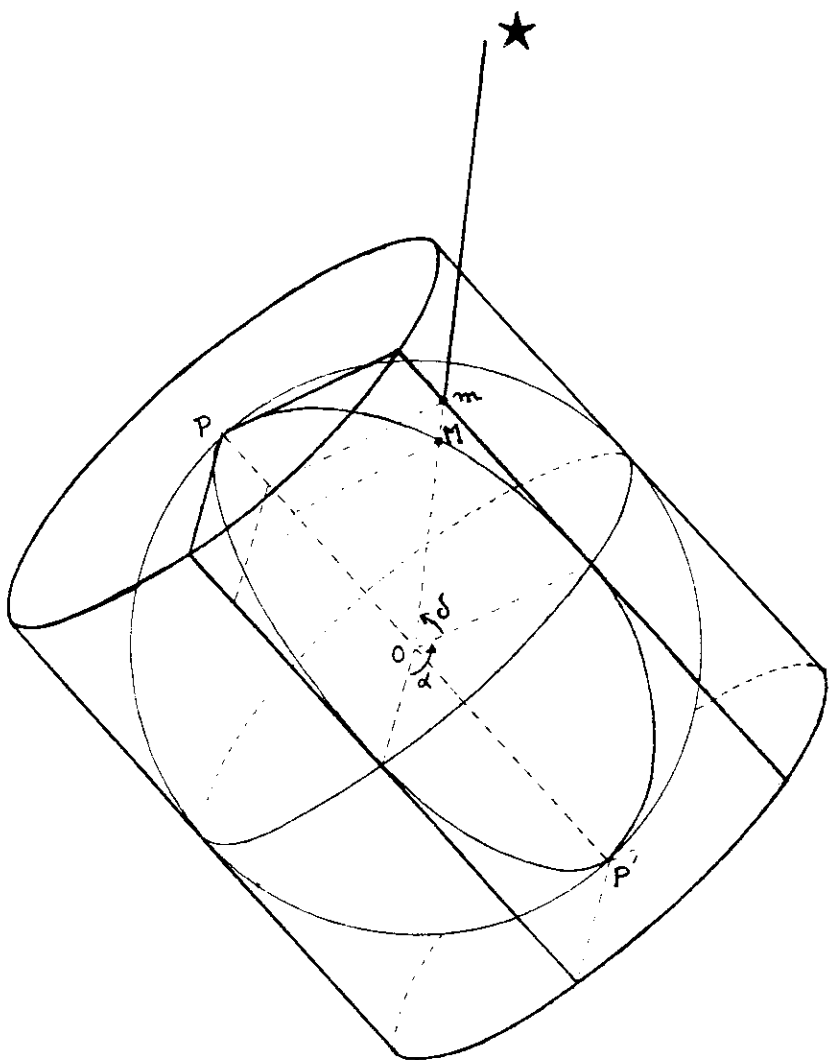
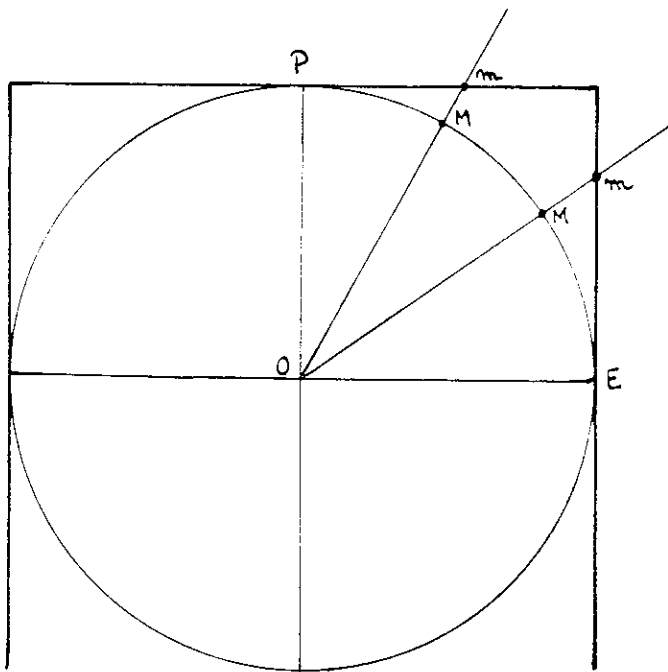
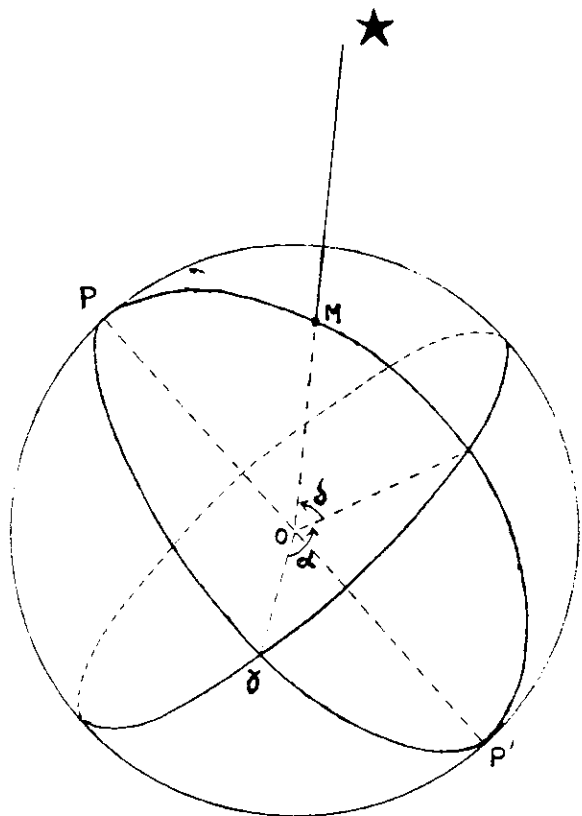
Pour repérer une étoile dans le ciel, seule sa direction importe. Cette direction peut être matérialisée par deux points : l'oeil de l'observateur et un point dessiné sur n'importe quelle surface. Alors pourquoi pas une surface cylindrique.

Les avantages de la forme cylindrique sont dus à la propriété du cylindre d'être une surface développable, d'où :

- possibilité d'utiliser un film transparent plan, léger,
- facilité du tracé de la carte qui se fait à plat et qui peut être aisément reproduit par photocopie,
- facilité de construction de l'armature n'utilisant que des tiges métalliques rectilignes ou circulaires,
- forme particulièrement simple de la monture équatoriale, puisqu'un cylindre tourne tout naturellement dans un berceau qu'il suffit d'incliner sur l'horizontale d'un angle égal à la latitude du lieu,
- possibilité de démonter l'ensemble pour le rangement et le transport dans un coffre plat peu encombrant et peu lourd,
- et enfin ... le coût très modique des matériaux utilisés.

Tout ceci autorise d'envisager un cylindre suffisamment grand pour que l'observateur puisse placer l'oeil au centre et se trouver ainsi dans la situation réelle d'observation du ciel.

Il suffit pour cela de laisser ouverte la partie de la carte cylindrique correspondant à la zone australe qui n'est jamais visible en France métropolitaine. Par contre, si l'on va dans l'hémisphère Sud, il suffit alors de dégager la zone boréale et observer tout aussi bien le ciel austral.



Comment tracer la carte cylindrique ?

Pour repérer la direction des étoiles, les astronomes utilisent une sphère céleste théorique avec un système de coordonnées équatoriales ; la direction de chaque étoile est définie par un point M dont la position est caractérisée par 2 angles :

son ascension droite  $\alpha$  (exprimée en heure)

sa déclinaison  $\delta$  (exprimée en degré)

Sur le cylindre circonscrit à la sphère céleste, la direction OM de l'étoile est caractérisée par un point  $m$ ,

- situé dans le plan PMP' qui fait un angle  $\alpha$  avec le méridien origine P P'

- et tel que :

$$Em = R. \operatorname{tg} \delta \quad \text{si } -45^\circ < \delta < +45^\circ$$

$$\text{ou } Em = R. \operatorname{cotg} \delta \quad \text{si } +45^\circ < \delta < 90^\circ$$

Pour rendre commode l'observation, on a pris un cylindre de 85 cm de diamètre et 85 cm de hauteur.

Toute la portion du ciel de déclinaison comprise entre  $-45^\circ$  et  $+45^\circ$  se projette sur la paroi cylindrique qui donne, lorsqu'on la développe, un rectangle de 85 cm de haut et 887 cm de long égal au périmètre.

Sur ce rectangle, chaque point  $m$  peut être repéré dans un système de coordonnées rectangulaires :

- l'abscisse  $E = R.\alpha$  est proportionnelle à l'ascension droite  $\alpha$  (11,125 cm par heure)

- l'ordonnée  $Em = R.\operatorname{tg} \delta$  correspond à la déclinaison

Toutes les étoiles de même ascension droite sont sur une même droite perpendiculaire à l'équateur

Toutes les étoiles de même déclinaison sont sur une même droite parallèle à l'équateur

La partie boréale du ciel de déclinaison comprise entre  $+45^\circ$  et  $+90^\circ$  se projette sur un disque de 85 cm de diamètre.

Les points  $m$  peuvent y être repérés dans un système de coordonnées polaires où :

- l'angle polaire est l'ascension droite  $\alpha$  de l'étoile,

- et la déclinaison  $\delta$  est représentée par la distance  $Pm = R.\operatorname{cotg} \delta$  .

Toutes les étoiles de même ascension droite sont sur un même rayon.

Toutes les étoiles de même déclinaison sont sur un même cercle de centre P.

### Comment utilise-t-on un STELLOTOPOSCOPE ?

*C'est un appareil conçu pour une utilisation nocturne, en extérieur.*

*On le met en station comme un télescope à monture équatoriale : on place son axe parallèlement à l'axe de rotation de la Terre en visant l'étoile Polaire.*

*Pour "mettre à l'heure" le stellotoposcope, on utilise tout simplement la "Grande Ourse" (ou une autre constellation connue, facilement repérable).*

*Pour cela, on place l'oeil au centre du cylindre, on vise la constellation et on tourne le cylindre de façon à faire coïncider les étoiles réelles avec celles de la carte.*

*La carte du ciel, avec toutes ces indications (système de coordonnées, écliptique, équateur, noms des constellations, planètes, lune...) se superpose alors exactement au ciel par similitude.*

### Autres utilisations possibles du STELLOTOPOSCOPE

*De jour ou de nuit par temps couvert ou encore au chaud à l'intérieur on peut utiliser le stellotoposcope :*

- soit comme une Sphère armillaire*
- soit comme un Planétarium individuel*

*permettant d'expliquer tous les mouvements apparents diurne et annuel du Soleil, de la Lune, des Planètes et des étoiles ainsi que les levers et couchers des astres, la variation de la durée du jour et de la nuit et des saisons.*

---

---

---

## LE CIEL ET L'ESPACE

### RENCONTRES EUROPEENNES SUR L'ASTRONOMIE ET L'ESPACE

La Rédaction des Cahiers est navrée d'avoir omis par un malheureux concours de circonstances d'annoncer ces rencontres que l'Association Française d'Astronomie organise à Montpellier et à Aniane du 20 au 23 septembre 1989.

Le programme comporte trois sessions:

- les femmes, les hommes, les carrières (enseignement, recherche, formation, information)
- le ciel du troisième millénaire (astronomie et espace à l'horizon 2000)
- l'espace pour tous (les retombées du spatial pour le citoyen)
- des moyens pour comprendre (les outils d'information du public en Europe dans les domaines liés à l'astronomie et à l'espace)

Un grand rassemblement international d'astronomes amateurs se déroulera en même temps.

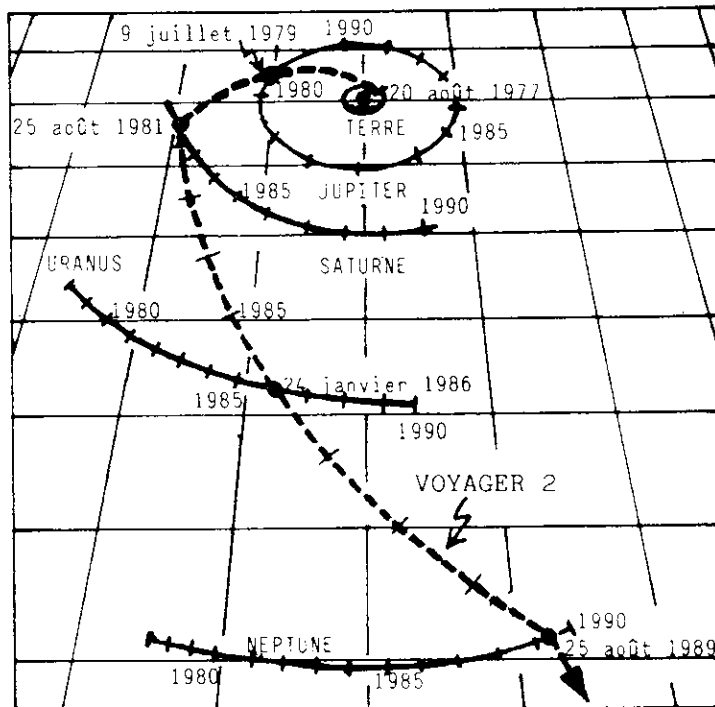
A défaut d'avoir pu annoncer ces rencontres à temps, nous espérons avoir l'occasion d'en faire le compte rendu.

## LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

### VOYAGER 2, 12 ANS APRES : NEPTUNE

Oui, c'était il y a 12 ans, Voyager 2 s'envolait précédant de quelques mois le premier numéro des Cahiers Clairaut (printemps 1978) et chacun depuis a suivi sa route ... les CC ont franchi le cap des 12 printemps avec le dernier numéro paru (n° 46) en suivant bien sûr la moisson extraordinaire de cette sonde. On pourra se reporter aux articles suivants des CC : n°7, p. 3; n°8, p. 19; n° 11, p. 3; n°32, p. 35; n°33, p. 3; voir aussi le n°10, p. 11 pour les aspects historiques; numéros richement documentés grâce à notre ami André Brahic engagé depuis le début dans l'aventure de Voyager et aussi... dans celle du CLEA !

On peut suivre l'épopée sur le schéma montrant le plan de l'écliptique où sont représentées les orbites héliocentriques des planètes Terre, Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune pour les années 1980. Rappelons que les distances moyennes de ces planètes au Soleil sont respectivement en unités astronomiques (1u.a.= distance moyenne Terre-Soleil = 150 millions de km) : 1; 5,2; 9,5; 19,2 et 30,1; le schéma respecte ici approximativement l'échelle des dimensions des orbites. Voyager 2 a quitté la Terre le 20 août 1977 pour survoler successivement Jupiter (9 juillet 1979), Saturne (25 août 1981), Uranus (24



janvier 1986), Neptune et son satellite Triton ( 25 août 1989) et quitter ensuite le plan de l'écliptique et le système solaire. On retrouve sur ce schéma la situation exceptionnelle de ces planètes, tendant à se placer presque en alignement, au cours de ces années (voir les dates graduées sur chaque orbite) - cela n'était pas le cas en août 1977 au moment du départ de Voyager ! à noter aussi qu'au début de 1990, depuis la Terre, Jupiter sera vu en opposition et Saturne, Uranus et Neptune pratiquement en conjonction - . La mission Voyager c'est d'abord cette remarquable réussite balistique, utilisant la configuration remarquable des planètes géantes pour réaliser une "navigation assistée par gravitation". Le survol de chacune des planètes s'accompagne d'une modification de la courbure de la trajectoire et d'un coup d'accélérateur ... gratuit. Et oui, la gravitation ça marche !

L'approche de Neptune a déjà fourni quelques résultats marquants : confirmation des fragments d'anneaux découverts autour de la planète à partir d'observations au sol en 1984-1985 par André Brahic et ses collègues (voir les CC n° 28, p. 31 et n° 29, p. 25), puis découverte de différents systèmes d'anneaux complets (cinq à ce jour) dont l'un a une structure en chapelet de saucisses , grande tache foncée cyclonique aussi énorme que la tache rouge de Jupiter et détermination de sa période de rotation (18h 20min), 8 nouveaux satellites en plus des deux seuls connus jusqu'ici (Triton et Néréide) , champ magnétique, phénomènes météorologiques avec des nuages turbulents circulant à haute altitude, enfin révélation de l'étrange monde glacé de Triton avec des zones lisses , des zones de fractures et de failles , des zones volcaniques, entouré d'une atmosphère épaisse constituée essentiellement d'azote avec des traces de méthane et peut-être d'oxyde de carbone.

La dernière mission planétaire de Voyager 2, le survol de Triton, vient juste d'être réussi au moment où ce numéro est bouclé et les premiers résultats sont déjà exceptionnellement riches. Un peu de patience pour en savoir plus d'ici la prochaine AG du CLEA !



## LA CHRONIQUE DU CLEA - LE COURRIER DES LECTEURS

### L'Assemblée Générale du CLEA

Elle aura lieu le dimanche 19 novembre 1989 ou 27 brumaire 198, de 10 heures à 18 heures, à Orsay (bâtiment 450, amphi G3).

Elle fera le point sur le mouvement en faveur de l'enseignement de l'astronomie qui a été marqué cette année par les travaux de la commission ministérielle "Sciences de la Terre et sciences de l'Univers".

Nous espérons aussi des échos du grand événement de l'année, la visite de Voyager au voisinage de Neptune.

Ce 27 brumaire, une bonne occasion de se retrouver dans le climat CLEA pour faire de nouveaux projets.

N.D.L.R.

La Rédaction remercie Jean-Marc Lévy-Leblond et les revues de la Société Française de Physique et de l'Union des Physiciens de nous avoir autorisés à reproduire son article sur Michel Hulin. Hommage à celui-ci auquel nous tenions à nous associer.

On ne prête qu'aux riches

Les lecteurs auront été surpris d'apprendre, sous la plume de Jean Heidmann (CC n°46, p.10), que le SETI avait décidé de frapper un grand coup, "construire un récepteur avec des dizaines de milliards de canaux d'écoute."

La Rédaction avait adapté, avec l'accord de l'Auteur, un article paru dans le Journal des Astronomes Français. Et pour adapter, il faut lire à la loupe. Si bien que, entraînée par sa générosité naturelle, la Rédaction a écrit milliards là où Jean Heidmann avait écrit plus modestement millions. Plus de mille excuses à l'Auteur et aux lecteurs.

Information

Le club d'information scientifique des PTT propose un week-end d'initiation à l'astronomie, les 28 et 29 octobre 1989 au centre de vacances PTT de Sologne de Sainte Montain. Renseignements et inscriptions: 5/7 av du Général Sarrail, 75016 PARIS ; tél (1) 46 51 50 50.

Sur le calendrier républicain

Notre collègue Lucien Sourrouille (lycée technique Jacquard, 2 rue Bouret, 75019 PARIS), intéressé par l'article de Michel Toulmonde, propose quelques remarques ou questions :

- Le premier jour de chaque décade est-il appelé Primedi ou Primidi ?
- Le décret instituant le calendrier républicain est daté 4 frimaire anII soit 24 novembre 1793 alors que l'adoption est généralement datée du 5 octobre 1793 ; pourquoi ?
- Dommage qu'à la sortie du spectacle de Robert Hossein, "La Liberté ou la mort" on ait vendu des calendriers républicains luxueux (carton glacé et quadrichromie) mais présentant des mois inégaux et pas de jours complémentaires. D'ailleurs, à propos de ces jours complémentaires ou sanculotides, avec un seul ou deux. Même sans culotte, on a bien deux jambes.

Plus sérieusement, Lucien Sourrouille propose aux lecteurs des Cahiers que cela intéresserait un petit logiciel de calcul de la date républicaine ; il se fera un plaisir de la communiquer contre tout envoi d'une disquette formatée pour IBM PC et d'une enveloppe affranchie pour le retour.

**ASTRONOMIE A LA REUNION**

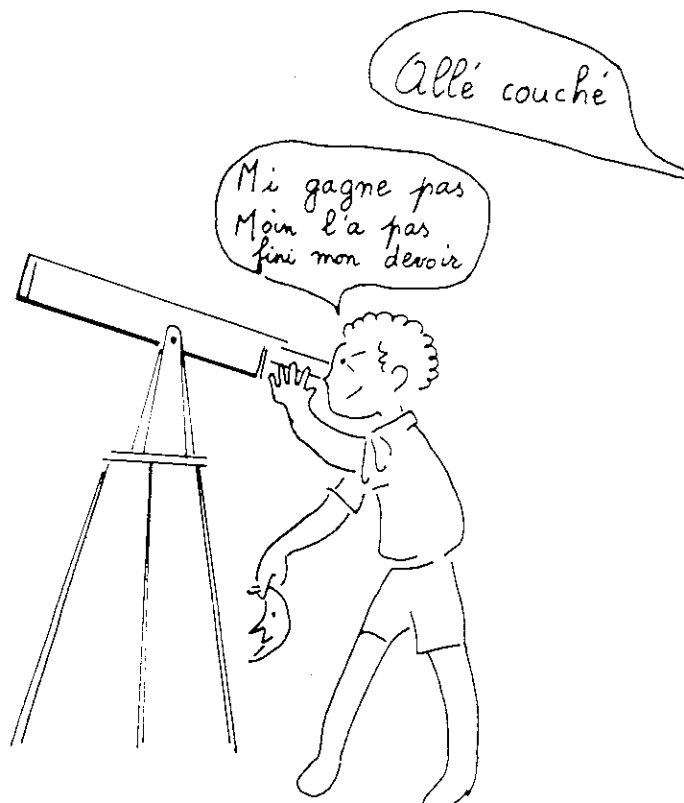
Michel Vignand, professeur à l'Ecole Normale de Saint Denis de la Réunion, et président de l'Association Astronomique Réunionnaise (AAR) a organisé avec une efficacité peu commune un stage académique d'astronomie qui s'est déroulé à la Saline-les-Bains du 15 au 19 juillet, avec la participation d'une équipe d'astronomes CLEA, conduite par Michèle Gerbaldi.

Ce fut l'occasion de confrontations d'expériences et de nombreux, fructueux et chaleureux échanges entre les participants, groupe d'enseignants ou d'animateurs extrêmement motivés et dynamiques. Les astronomes métropolitains ont beaucoup apprécié le ciel du sud, la pleine lune au zénith, ainsi que la qualité de l'accueil qu'elles ont reçu et la convivialité qui a régné tout au long de cette semaine studieuse. Deux conférences publiques de Michèle Gerbaldi et une soirée d'observations organisée par l'AAR, ont accompagné le stage.

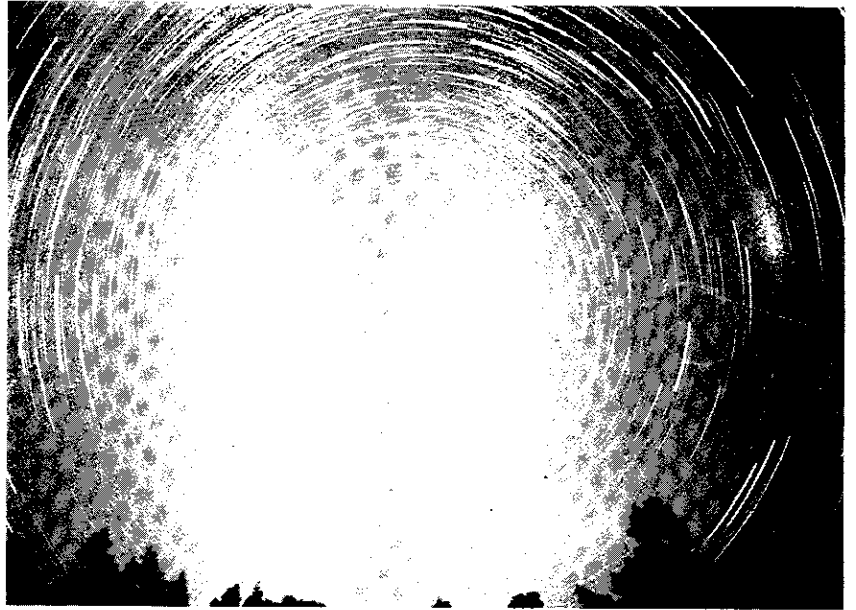
L'Association nous a communiqué les documents reproduits ci-dessous, avec la traduction créole du dessin de Georges Paturel qui habille la couverture du fascicule thématique "Ecole Élémentaire". Vus "dans l'autre sens", les mers de la Sérénité, de la Tranquillité, de la Fécondité, du Nectar et des Crises dessinent la silhouette d'un lapin, que la transparence du ciel réunionnais rend aisément perceptible à tout un chacun. A la Réunion, on reconnaît la Lune au premier quartier, non parce qu'elle ne dessine pas un "p", mais parce qu'elle exhibe le lapin.

L'Association Astronomique Réunionnaise et Michel nous ont promis pour un prochain numéro un article plus détaillé sur la vie de l'Association et le projet d'observatoire astronomique qui sera implanté aux Makes. L'Association fonctionne dans un état d'esprit de grande ouverture sur l'extérieur, qui est celui du CLEA. La centaine de curieux, en majorité des enfants et des adolescents, qui ont participé à la soirée d'observations, l'ont aisément constaté: les animateurs ne se sont jamais lassés de répondre aux questions ou de tourner leurs télescopes vers les curiosités du ciel.

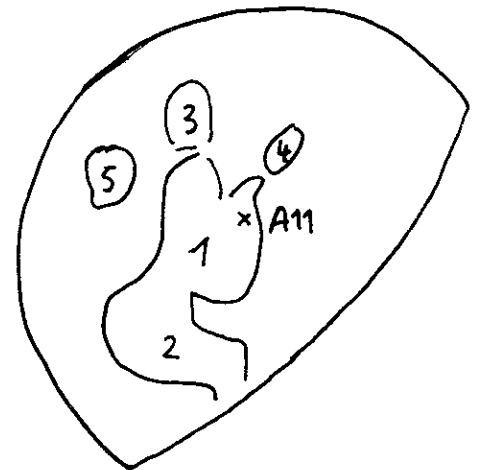
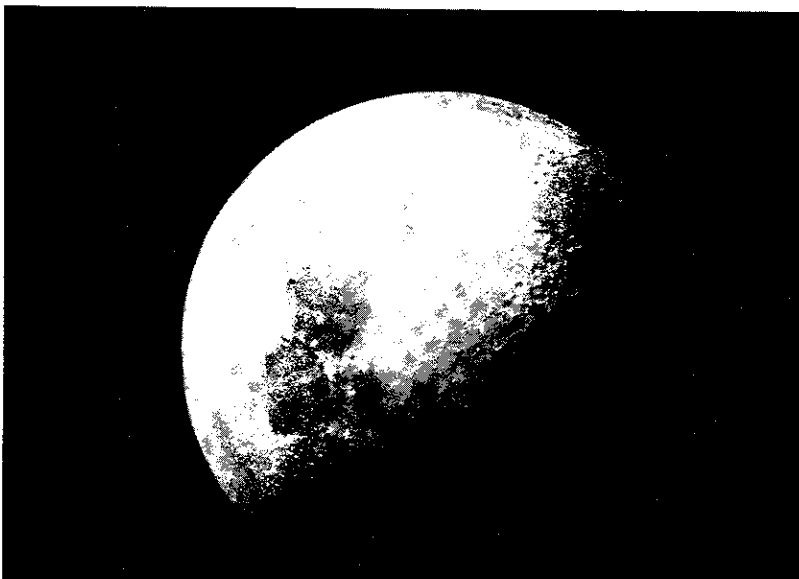
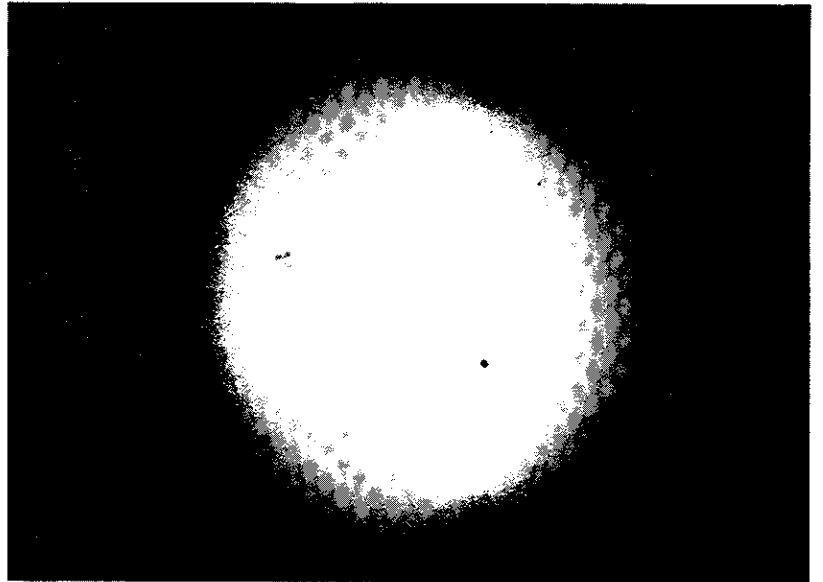
Le CLEA est très heureux de pouvoir annoncer l'inclusion dans son conseil, dès 1990, d'un correspondant à la Réunion, et les 3 astronomes qui ont participé au stage tiennent à remercier chaudement les organisateurs et tous ceux qui les ont accueillis, Michel, Marie-Christine, Inès, Jean-Claude, André, Yves et tous les autres. Elles se prennent à rêver d'un menu spécial pour la prochaine AG du CLEA, avec cari de papayes, gratin de chou-choux et rhum "arrangé" ...



autour du pôle sud  
(objectif 35mm , 1h de pose)



Le Soleil et ses taches  
au foyer du télescope  
avec filtre et à pleine ouverture



- 1: mer de la Tranquillité
- 2: mer de la Sérénité
- 3: mer de la Fécondité
- 4: mer du Nectar
- 5: mer des Crises
- A11: atterrissage de Armstrong et Aldrin en 1969

## **RHAPSODIE PARADIDACTIQUE A LA MEMOIRE DE MICHEL HULIN**

### *(Ouverture)* **Eloge de la litote**

Il y a quelques années, lors d'un colloque, un de plus, consacré aux enjeux sociaux du développement scientifique contemporain, Michel Hulin avait conclu un exposé, à son habitude aussi critique sur le fond que discret dans sa forme, par une citation apparemment neutre, sinon approbatrice, du fameux commentaire attribué à Fermi devant les inquiétudes de ses jeunes collègues après l'explosion de la première bombe A à Los Alamos : " Peut-être, mais quelle belle manip ! ". Une réprobation quasi-unanime fit murmurer la salle. A ma stupéfaction, la plupart des auditeurs avaient pris cette conclusion au premier degré, sans même se rendre compte qu'il redoublaient ainsi, précisément, la dangereuse et naïve présomption scientifique que pointait Hulin. Assez désabusé, il ne crut même pas nécessaire de préciser sa pensée.

Sa tranquille ironie, sa lucidité réservée vont beaucoup nous manquer. Il n'y a guère d'exemples, parmi nous, d'homme ayant consacré autant de temps et d'énergie à des projets de rénovation pédagogique et culturelle, et capable, sans amertume, d'en analyser les étroites limites et de tirer " les leçons de la déconvenue ", selon le rude titre qu'il avait choisi pour un livre que je me réjouissais de l'avoir convaincu d'écrire, et dont seules des bribes, précieuses, témoignent aujourd'hui de l'importance.

Par estime pour la façon d'être de Michel Hulin, je voudrais éviter que ces quelques lignes d'hommage ne versent dans le pathos, et préfère saluer sa mémoire sur un ton qu'il aurait, je l'espère, approuvé.

### *(Premier mouvement)* **Le baromètre de l'imagination**

Je viens de retrouver dans mes papiers une vieille photocopie d'un texte anglais sans mention de date, d'auteur, ni d'origine, que je me souviens seulement d'avoir reçu d'un collègue, voici une vingtaine d'années (Merci par avance à qui pourrait indiquer une référence précise). Cette histoire avait circulé à l'époque, et je pense que Michel Hulin la connaissait et l'appréciait. Je crois utile de la remettre en circulation, dans une version française que voici.

" Il y a quelque temps, un collègue me demanda de servir d'arbitre dans un conflit qui l'opposait à un étudiant à propos d'un oral d'examen de physique. Il s'appretait à mettre une très mauvaise note à l'étudiant, qui prétendait, lui, avoir mérité une excellente appréciation. J'acceptai d'examiner la situation. Mon collègue me soumit la question posée : " Comment déterminer la hauteur d'un bâtiment à l'aide d'un baromètre ? ". L'étudiant avait répondu : " Il suffit de monter au sommet du bâtiment avec le baromètre et une corde, d'attacher le baromètre à la corde, de le laisser descendre jusqu'au niveau du soi puis de le remonter et de mesurer la longueur de la corde filée ".

Je considérais que l'étudiant méritait effectivement une bonne appréciation puisque sa réponse était complète et correcte. Mais une note élevée permettrait à l'étudiant d'obtenir une mention pour ses examens de physique, bien que sa réponse ne témoignât pas précisément de connaissances particulières dans la discipline. Je suggérai qu'on lui propose un deuxième essai, ce que mon collègue accepta. Je donnais dix minutes à l'étudiant pour préparer une autre réponse à la même question, en l'avertissant qu'elle devrait montrer quelque compétence en physique. Au bout des dix minutes, il semblait hésitant. Je lui demandais s'il voulait abandonner — mais, au contraire, il avait *trop* de réponses et me demandait laquelle choisir, me répondit-il. Je lui dis de ne pas tergiverser.

" Alors, enchaîna-t-il aussitôt, remontez au sommet du bâtiment, lâchez le baromètre et mesurez son temps de chute  $t$  avec un chronomètre. La formule  $h = (1/2)gt^2$  vous donnera la hauteur cherchée ". Mon collègue m'accorda alors que l'étudiant méritait vraiment une bonne note...

Mais, curieux, nous lui demandâmes quelles autres réponses il pouvait proposer. " Oh, il y en a des tas ", dit-il. " Par exemple, si c'est un baromètre à colonne, on peut, par un jour ensoleillé, mesurer sa hauteur et la longueur de son ombre, puis la longueur de l'ombre du bâtiment, et avec une simple règle de trois, en déduire sa hauteur ".

" D'accord. D'autres encore ? ".

" Eh bien, voilà une méthode triviale et directe : vous montez les escaliers du bâtiment en reportant à chaque fois la hauteur du baromètre sur le mur vertical. Le nombre de marques vous donne directement la hauteur du bâtiment en termes de la longueur du baromètre, qu'il suffit de mesurer. On peut faire plus sophistiqué : en attachant le baromètre à une ficelle, on le transforme en pendule, ce qui permet de mesurer les valeurs de  $g$  au pied et au sommet du bâtiment. De leur différence, on peut déduire la hauteur du bâtiment ".

" Mais la méthode la plus fiable est sans doute d'aller voir le gardien de l'immeuble et de lui faire cadeau de ce somptueux baromètre en échange de l'information sur la hauteur du bâtiment ".

Poussé dans ses retranchements, l'étudiant finit par admettre qu'il connaissait la " bonne " réponse, celle que mon collègue attendait, mais qu'il était tellement excédé par la technique pavlovienne des examens usuels qu'il avait décidé de réfréner ses réflexes conditionnés et de montrer que l'imagination et la science n'étaient pas nécessairement incompatibles ".

### *(Deuxième mouvement)* **La marée de l'ignorance**

J'ai souvent l'impression, à enseigner la physique à l'Université (en Licence), que ce sport s'apparente au ski sur glacier, et que nous passons très souvent sur de fragiles ponts de neige qui recouvrent des crevasses profondes et insoupçonnées. La vitesse acquise aidant, l'enseignant les franchit sans peine, et le regard fixé devant lui sur les exigences du sacro-saint Programme, ne se retourne guère pour voir nombre d'étudiants disparaître derrière lui un par un dans les trous béants que nous avons laissés subsister dans leur savoir. Comment s'étonner qu'il y ait tant de manquants à l'appel sur la ligne d'arrivée de l'examen final ?

J'avoue être de plus en plus mal à l'aise, lorsque j'enseigne les subtilités de la théorie quantique ou les charmes de la relativité einsteinienne à des étudiants qui n'ont de toute évidence pas maîtrisé la mécanique classique, ni l'espace-temps newtonien. Et que peuvent-ils bien comprendre, malgré leur avidité pour ces objets à la mode, aux noyaux et aux novae, aux quarks et aux quasars, alors qu'ils savent si peu de choses de notre monde quotidien, des arcs-en-ciel et des marées, des phases de la lune et des saisons ?

Pour qui douterait de ce hiatus croissant entre le fond de la connaissance physique classique et l'écume des acquis pédagogiques modernes, voici les résultats d'une très brève enquête auprès d'un groupe de 35 étudiants de Licence de Physique, dont je n'ai aucune raison de mettre en doute la représentativité. Je les ai interrogés sur ce qui est, après tout, un important et intéressant phénomène physique, à propos duquel la physique classique a brillamment éprouvé sa capacité d'explication : les marées. A la première question " *Au cours de vos études de physique, y compris l'enseignement secondaire, vous a-t-on déjà parlé du mécanisme des marées ?* ", 14 Oui, 21 Non — à méditer par les rédacteurs de nouveaux programmes... Quant à la nature du phénomène, les marées sont dues pour 5 d'entre eux à la rotation de la Terre sur elle-même, et pour 30 à l'attraction lunaire (dont 5 ajoutent celle du Soleil). Mais ce résultat apparemment encourageant se révèle sans réelle signification quant à une compréhension effective du mécanisme des marées, puisqu'à la question-clé : " *Expliquez brièvement pourquoi il y a en général deux marées par jour (de 24 heures) en un lieu donné* ", 26 étudiants sont incapables de donner aucune réponse et 9 d'entre eux n'en proposent que des fantaisistes : " à cause de l'ellipticité de l'orbite de la Lune ", " il y a une marée due à la Lune et l'autre au Soleil ", " La gravité de la Lune se manifeste deux fois par jour ", à cause de la première loi de Kepler (sic) ", " c'est l'oscillation de la Terre autour de son axe des pôles ". Au moins l'un d'entre eux ose-t-il une charmante échappatoire : " le flux et le reflux me font... marrer ". Ce résultat déprimant est confirmé par les réponses aberrantes

à une question sur l'existence potentielle de marées sur la Lune, au cas où elle posséderait des océans, et leur périodicité (évidemment, concernant ce tout dernier point, il y a une subtilité...). Enfin, l'inculture au sens profond du terme, que révèlent ces réponses, est explicitée par la question "*Depuis quand la physique comprend-elle le phénomène des marées ?*" : si 14 étudiants proposent bien le 17<sup>e</sup> siècle, 6 en tiennent pour l'Antiquité, 10 pour le 18<sup>e</sup> et 5 pour le 19<sup>e</sup>.

Cet afflux de méconnaissance ne me fait *pas* marrer...

### (Troisième mouvement) **La chasse aux tigres**

(D'après un conte chinois)

Il était une fois un jeune garçon qui rêvait de devenir chasseur de tigres. Personne n'avait jamais vu de tigres dans les plaines cultivées du Nord où il vivait, mais la beauté et la férocité des fauves étaient célébrées par les conteurs lors des veillées, et les exploits des grands chasseurs leur valaient un prestige et une renommée que colportaient les marchands ambulants depuis les jungles du Sud. D'ailleurs les éléments de la chasse aux tigres étaient enseignés à tous les gamins. Pour former leur caractère et tremper leur courage, cette noble discipline, toute théorique qu'elle restât, était considérée comme sans rivale ! Beaucoup d'enfants se moquaient de cette chasse sur le papier, enseignée par un vieux maître incapable, certainement, de reconnaître un tigre d'un lynx. La plupart des garçons préféraient courir la campagne et, sans livre, prendre les lièvres au collet et les grives à la glu.

Notre héros rêvait d'exploits plus dignes, d'armes nobles et de chasses prestigieuses. Très vite les leçons du maître villageois ne lui suffirent plus ; il avait beau être le meilleur en cours, il était insatisfait et accumulait avidement les brochures populaires à la gloire des chasseurs impériaux, et les images vendues par les colporteurs représentant les plus fameuses chasses. Seul, il s'entraînait avec un arc virtuel et imaginait déjà des stratagèmes inédits.

Son ambition vainquit les résistances de ses parents et, jeune homme, il fut admis comme apprenti chez le Maître-Chasseur du chef-lieu de province. Celui-ci avait pour seule tâche de contrôler les loups et les sangliers de la forêt voisine. Mais il avait jadis, dans sa jeunesse, fréquenté les contrées méridionales et ne se faisait guère prier pour raconter ses exploits face aux grands tigres. La plupart des apprentis riaient sous cape de ses vantardises. Mais le jeune homme, sans en être dupe, glanait la moindre bribe d'un savoir pourtant bien ancien, sans doute de seconde main, qui se résumait à quelques formules magiques et à la présentation d'armes trop fragiles et trop dangereuses, prétendait le Maître, pour qu'on laissât de jeunes gens y toucher.

Après dix ans d'apprentissage servile et ingrat, le jeune homme reçut son diplôme de Chasseur-Expert de seconde classe qui lui permettait de chasser seul le petit gibier à poil et à plume et, sous la surveillance d'un Chasseur de première classe, les daims, cerfs, etc. — mais pas les fauves, réservés aux Chasseurs hors-classe de l'Académie Impériale de Chasse. Sa résolution ne faiblit pas. Il se rendit à la capitale où, après de longs mois d'attente et des concours sans fin, il fut admis comme Chasseur-Expert stagiaire auprès d'un de ces illustres Académiciens. Bien qu'au bord de la retraite et, torturé par la goutte, incapable désormais d'affronter la jungle et ses bêtes, le vieux Chasseur, ému par la vocation du jeune homme, lui conta par le menu ses expériences, lui apprit les mœurs secrètes des tigres, lui enseigna les tactiques les plus subtiles et l'initia au maniement des armes. Satisfait par les brillantes aptitudes de notre héros, son patron le fit admettre à l'Académie, où il reçut en grande pompe le brevet qui lui permettrait de traquer enfin ces tigres auxquels il rêvait depuis toujours, sans en avoir jamais vus que sur le papier.

Il partit aussitôt pour les contrées du Sud, rêvant chaque nuit d'affûts et d'affrontements, et du jour glorieux où le Prix Noble viendrait récompenser son courage et son talent. Mais, en trente ans, la jungle avait reculé devant les bidonvilles, et la violence humaine avait relégué la peur des fauves au rang de légende. Nul n'avait plus vu de tigre depuis le temps de son enfance.

Faute de pouvoir alors faire la chasse, il pouvait au moins l'enseigner. Et l'homme se fit Professeur de chasse aux tigres.

**Jean-Marc Lévy-Leblond**

Physique Théorique, Université de Nice

## ACTUALITE ET AVENIR DE L'ENSEIGNEMENT DE L'ASTRONOMIE

---

---

Nous poursuivons la publication de documents réunis au cours de notre enquête sur l'enseignement de l'astronomie ou au cours du colloque CLEA d'avril 1989.

### VOIR DES CHOSES DANS LE CIEL

(un interview)

- "Il y a huit ans, vous avez entrepris une initiation à l'astronomie avec les enfants de votre grande section de Maternelle, en la poursuivant jusqu'à maintenant, avec le souci d'adapter chaque année votre démarche à l'actualité et aux demandes des enfants. Ce projet pouvait paraître ambitieux pour des enfants d'école maternelle. Pouvez-vous préciser les circonstances particulières qui ont favorisé cette initiation ?"

Septembre 1979. C'est la rentrée des classes. On emménage dans une école toute neuve ; dans la cour de récréation, une présence inattendue : celle d'une coupole abritant un superbe télescope de type Newton, de 27 cm d'ouverture, prêté par la Société Astronomique de France au club d'astronomes amateurs de la commune. Les responsables du club n'ont pas vu d'inconvénient à ce qu'une école soit implantée sur leur terrain, bien au contraire, et l'architecte a conçu les bâtiments scolaires de telle façon qu'ils ne gênent pas les observations.

C'est pour satisfaire la curiosité des enfants qu'un beau matin on ouvre la coupole. Ainsi va commencer une expérience passionnante qui se poursuivra au fil des mois puis des années suivantes. Les enfants montrent un tel enthousiasme pour tout ce qui concerne le ciel et l'espace qu'ils m'amènent à leur proposer une véritable petite initiation à l'astronomie. Celle-ci, très modeste au départ, prendra peu à peu, pour répondre à la demande, de plus en plus d'ampleur et de profondeur.

Cette initiation se fait sur le "terrain" les soirs d'observation, environ une fois par semaine quand le temps le permet. Les enfants viennent en famille dès la nuit tombée et, l'oeil rivé à l'oculaire du grand télescope (ou à celui des instruments construits par les membres du club), ont la joie de découvrir les cirques de la Lune, les satellites de Jupiter ou les anneaux de Saturne. Je leur propose également des documents de toutes sortes : livres, posters, diapositives, maquettes.

Première constatation : les enfants mémorisent rapidement le vocabulaire spécifique, les noms des planètes par exemple sont prétexte à jeux de langage.

Il faut bien sûr laisser de côté tous les aspects mathématiques de la question ; seul le côté descriptif doit être retenu, ce qui n'est pas toujours facile. Pour cela, j'ai recours à tout un système de références et d'échelles à la portée des jeunes enfants : "Tu vois ce gros ballon, on va dire que c'est le Soleil ; cette petite bille de verre ? C'est la Terre..."

De même, tous les phénomènes et mécanismes pouvant être décrits d'une façon simple et concrète, en s'appuyant sur des images familières, peuvent être mis à leur portée. L'idée m'en est venue un jour en lisant le très beau livre d'Hubert Reeves Patience dans l'azur, dans lequel il compare l'Univers en expansion à un pudding aux raisins gonflant dans un four, les raisins étant les galaxies qui s'éloignent les unes des autres...

A chaque fois que cela est possible nous procédons à la simulation des phénomènes. Afin de bien comprendre la rotation de la



Terre sur elle-même, sa révolution autour du Soleil, le mouvement de la Lune, les enfants se font acteurs : ils deviennent tour à tour Terre, Soleil, Lune, ou, en groupe, tout le système solaire. Pour les autres phénomènes plus complexes comme les phases de la Lune, les éclipses de Lune et de Soleil, nous nous installons dans une salle obscure - le dortoir de l'école - avec un projecteur pour figurer le Soleil des ballons de tailles différentes pour représenter la Terre et la Lune. Tout devient ainsi beaucoup plus clair dans l'esprit des enfants.

Toutefois, pour répondre à leur besoin d'imagination et de merveilleux, je procède à un va-et-vient entre le réel et l'imaginaire, la pensée rationnelle cédant la place à la pensée créative et vice-versa, en constatant que l'une et l'autre se renforcent mutuellement pour atteindre des résultats remarquables. Par exemple, après avoir "étudié" le système solaire, je propose aux enfants d'inventer un système stellaire composé d'une étoile centrale et de planètes entourées de leurs satellites. Les résultats sont toujours surprenants, certains enfants faisant preuve de beaucoup d'imagination, d'humour, de poésie.

Par ailleurs, nous suivons de près, grâce aux médias, des événements de l'actualité spatiale. L'année 1986 fut la plus riche en ce domaine avec le voyage de la sonde Voyager II vers Uranus, la catastrophe de la navette Challenger, et surtout, le retour de la comète de Halley. Cependant, à cause des mauvaises conditions atmosphériques durant ces mois d'hiver, les enfants ne purent pas apercevoir la comète dans le ciel ; ils se consolèrent en apprenant qu'ils assisteraient sans doute à son prochain passage en 2062, en fêtant leurs 82 ans !(occasion d'établir de façon imagée la lignée généalogique de l'enfant à l'arrière-grand-père).

En plus de cette initiation à l'astronomie, j'essaie de développer le sens de l'observation et de l'expérimentation, par le biais du jeu toujours. Pour cela je mets à la disposition des enfants un petit matériel que je complète progressivement : aimants de toutes sortes, loupes, lentilles et miroirs concaves, convexes, prismes, miroirs plans associés par deux, par trois, etc, qui les conduisent, tout en jouant, à faire des découvertes dont certaines nous ont entraînés beaucoup plus loin que prévu...

- "Pouvez-vous nous donner un exemple d'observation-expérimentation avec le petit matériel ?

Une expérience anodine prouvant que de jeunes enfants sont capables d'observer, d'avoir une pensée logique, de faire des déductions judicieuses, les a amenés à découvrir les phénomènes de convergence et de divergence des rayons lumineux à travers des lentilles. Je précise tout de suite que je n'aurais jamais songé à aborder un tel sujet et qu'aucun prolongement n'était prévu à l'expérience que je leur proposai : par un beau matin ensoleillé de juin, je montrai aux enfants - avec force recommandations de prudence - que l'on pouvait brûler du papier avec une loupe. Revenant en classe je leur demandai ce qu'ils en pensaient.

"La loupe aide le Soleil à être plus chaud", déclara Olivier le benjamin, qui n'avait pas encore six ans.

Trouvant la réponse intéressante, je lui demandai de venir dessiner ce qu'il avait vu. Il traça les rayons du soleil traversant la loupe comme si de rien n'était, et venant frapper le papier sur toute sa surface.

- Le papier a-t-il brûlé partout ? demandai-je.

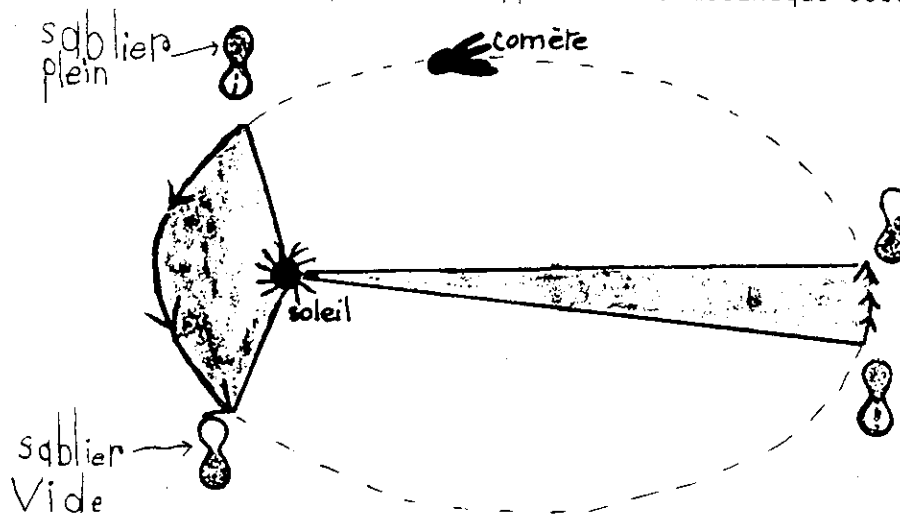
- Mais non! on a vu que ça brûlait juste au milieu !

- Moi, je sais ! s'écria alors Sébastien, la loupe a rassemblé les rayons du Soleil et c'est pour ça que c'est devenu très chaud ! Il rectifia de lui-même le dessin d'Olivier en faisant converger les rayons sur le centre du papier. Ensuite je recommençai l'expérience avec une lentille concave, sans résultat bien sûr. Sachant, pour avoir longuement joué à regarder au travers que lentilles "creuses" font l'inverse des lentilles "bombées",

les enfants me dirent : "Evidemment ! ça fait le contraire ! les rayons du soleil s'écartent et le papier ne peut pas brûler !"

- "La curiosité des enfants, leurs questionnements à partir des expérimentations que vous venez d'évoquer et les références à l'actualité vous ont entraînée bien au delà de ce que vous aviez envisagé au départ. J'ai entrevu, dans les albums, quelques dessins d'ellipses et de parcours orientés qui ne sont pas sans rappeler certaines lois de la mécanique céleste..."

L'année 85/86 fut "l'année de la comète" et les activités liées à l'astronomie prirent une ampleur toute particulière. Depuis quelque temps, une idée me trottait dans la tête : essayer de parler aux enfants des lois de Kepler, pas toutes bien sûr, mais d'abord des plus simples et voir jusqu'où l'on pourrait aller. Il fallait d'abord pour présenter ces lois, trouver une petite histoire capable d'intéresser les enfants et de les divertir, pour leur demander ensuite un certain effort de compréhension et de réflexion. J'ai donc inventé l'histoire du professeur Astrolobus, grand bricoleur, qui construit une maquette où l'on voit une "comète" graviter autour d'un "soleil". Il invite ses deux petits voisins, Nicolas et Nicolette, à venir dans son atelier pour leur apprendre la mécanique céleste.



Il leur montre tout d'abord sur la maquette que l'orbite de la "comète" est une ellipse possédant deux foyers dont l'un est occupé par le "soleil". Les enfants se sont exercés, comme Nicolas et Nicolette, à tracer des ellipses avec une ficelle et deux ventouses, ou deux épingles, selon le support. Ils ont vite remarqué que plus on rapprochait les épingles (foyers) plus les ellipses devenaient rondes ; "un rond, c'est quand deux épingles se touchent" a découvert Alexandre. Nous avons aussi tracé des grandes ellipses au sol, dans la cour, deux enfants servant de "foyers" avec une grande ficelle attachée à leur cheville.

Ensuite Nicolas et Nicolette constatent que la vitesse de la comète n'est pas uniforme : elle est d'autant plus grande que la comète se rapproche du Soleil. Nous mimons le phénomène dans la cour : un enfant-comète parcourt l'ellipse à grandes enjambées en passant à proximité de l'enfant-soleil, puis les réduit de plus en plus en s'en éloignant. Ceci a paru être une évidence pour les enfants : "La comète avance plus vite quand elle arrive près du Soleil, dit Julien, car c'est lui qui l'attire très fort". Pour le moment tout va bien, nous pouvons passer à l'étape suivante, mais cela devient fort compliqué.

Le professeur Astrolobus est perplexe. Il faut maintenant présenter la fameuse loi des aires, plutôt abstraite, impliquant la notion d'égalité de temps et de surfaces. Devant Nicolas et Nicolette, il met la comète en marche sur son orbite et trace deux points de repère, un à chaque extrémité de l'ellipse. Les deux intervalles de temps égaux sont obtenus à l'aide d'un gros sablier à grains de riz (tous les grains descendent

en huit secondes), que l'on retourne dès que la comète franchit un repère; ainsi sont délimités les deux trajets parcourus pendant la descente des grains de riz. Ensuite, Astrolobus trace les limites des deux aires fameuses dont Kepler démontra l'égalité, mais il demeure toujours aussi perplexe: comment prouver à ces deux enfants qu'elles sont équivalentes ?

Heureusement, Madame Astrolobus va venir à son secours car elle vient d'avoir une idée... En attendant qu'elle la mette à exécution, je propose aux enfants de mimer l'expérience sur l'ellipse tracée dans la cour. Alexandra manie le sablier à grains de riz tandis que Laurent-comète gravite autour de Benjamin-Soleil en observant les variations de vitesse étudiées précédemment. Les deux trajets parcourus sont repérés et je trace les limites des deux aires correspondantes sans rien dire ; les enfants se demandent bien où je veux en venir...

L'après-midi, j'annonce que Madame Astrolobus a fait un gros gâteau en forme d'ellipse et qu'elle a coupé deux parts pour Nicolas et Nicolette. Je présente les deux parts ; les enfants reconnaissent tout de suite les deux aires dessinées sur la maquette et dans la cour.

- Si vous étiez Nicolas ou Nicolette, quelle part voudriez-vous ?

- Celle-ci ! c'est la plus grosse !

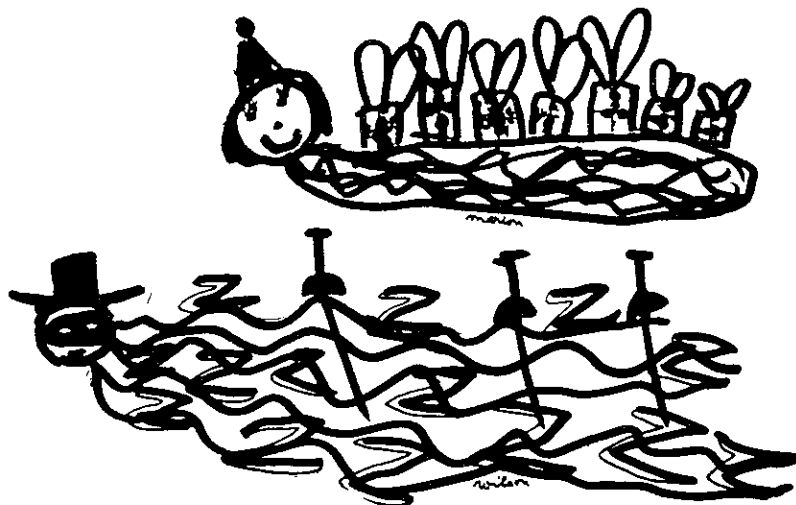
- Non, celle-ci ! c'est la plus grande !

Chacun reste fermement sur sa position. Je place alors les deux parts sur les plateaux d'une balance... "Elles sont pareilles! ça alors!"

C'est ainsi que ce jour-là fut "expliquée" la fameuse loi des aires, mais le professeur Astrolobus, ne voulant être de reste, propose une autre fois de placer des petits bonbons de couleur sur deux aires quadrillées. Après avoir constaté qu'il y avait autant de bonbons des deux côtés, les enfants se régalerent.

- "Un va-et-vient entre le réel et l'imaginaire, disiez-vous. Pouvez-vous nous en citer quelques aspects, et nous préciser, d'autre part, les relations établies entre cette activité exceptionnelle et les autres activités de la classe ? Rien n'a été négligé, me semble-t-il ; le contenu riche et diversifié des albums de compte rendu en témoigne."

A chaque fois que cela est possible, j'invite les enfants, à partir de l'approche d'un objet réel, à imaginer ce même objet modelé par leur fantaisie et leur sensibilité. Par exemple, après avoir observé des représentations de comètes, les enfants se sont amusés à dessiner des comètes humoristiques. "Comète-Père-Noël" chargée de cadeaux, "Comète-Zorro" pourvue des attributs significatifs du héros.



Certains domaines d'activités plus "scolaires" comme la lecture et l'écriture trouvent également leur place de façon occasionnelle : les enfants s'entraînent à reconnaître et à écrire des noms de planètes, à les associer à leur signe astronomique qu'ils arrivent à tracer de mémoire. Un jour, un enfant me

dit : "Lundi c'est le jour de la Lune". Nous avons donc cherché dans chaque jour de la semaine le radical correspondant au nom d'une planète. Le problème s'est posé pour "dimanche".

De façon générale, tous les exercices et comptes rendus dérivés ou inspirés par nos observations, manipulations et expérimentations, nous ont obligés, les enfants et moi-même, à trouver des codes de représentation (dessins, schémas, écrits, couleurs). Les activités manuelles de toutes sortes trouvent naturellement une large place dans ce thème : modelage de relief lunaire, construction de planètes en volume avec des papiers encollés sur une armature de cerceaux imbriqués, fabrication de vaisseaux d'exploration spatiale en utilisant des éléments de jeux de construction et de matériaux divers. Les activités d'éducation motrice sont parfois elles-mêmes rattachées au thème : enfants-planètes gravitant autour d'un enfant-soleil, enfants-étoiles dans un tourbillon galactique, enfant-vaisseau de l'espace bien sûr...

Evidemment, cette initiation qui a tenu une grande place dans nos activités, n'a jamais été un thème exclusif. Il ne faudrait pas donner une perception déformante d'une activité qui, pour être dominante à certains moments, n'a jamais écarté les centres d'intérêt habituels.

Mireille Hibon, institutrice

(article paru dans L'ECOLE MATERNELLE FRANCAISE N°3/décembre 1988 et repris ici avec l'aimable autorisation de l'Auteur et de la Revue)

---

## FAUT-IL CREER ET DIFFUSER DES LOGICIELS D'AIDE A L'ENSEIGNEMENT DE L'ASTRONOMIE

---

Nombreux sont ceux et celles d'entre nous qui ont tenté d'exploiter les ressources de l'informatique pour rénover l'enseignement de l'astronomie. Comme ces expériences demandent un investissement horaire assez lourd, il serait dommage qu'elles demeurent ignorées et peu utilisées. C'est pourquoi j'ai proposé au CLEA de recenser ce qui existe dans ce domaine et de publier la synthèse de cette enquête dans les Cahiers Clairaut.

Pour que le dépouillement des réponses soit assez rapide, vous pouvez photocopier le questionnaire ci-dessous, et me le renvoyer si possible dans les deux mois suivant la parution de ce texte. N'hésitez pas à développer la rubrique "suggestions". Ne soyez pas modeste, même si vous n'avez pas mené jusqu'à son terme l'expérience que vous avez entreprise, elle est intéressante pour mieux cerner les outils didactiques à créer et pour mettre en évidence les besoins en formation continue.

Cochez d'une croix les cases "0".

Pour les réponses nécessitant un développement (telles que 4,5,6,7), ajoutez des feuilles annexes.

Envoyez vos réponses à l'adresse suivante :

Daniel TOUSSAINT 20 rue Renaudot 10160 AIX EN OTHE

N.B. La participation à cette enquête est gratuite et elle ne donne pas droit à un voyage aux Antilles !

NOM ..... Prénom .....

Adresse : .....

1. Utilisez-vous l'ordinateur pour enseigner l'astronomie ?

jamais ... 0      parfois ... 0      souvent ... 0

2. Si vous ne l'utilisez jamais, c'est parce que :
- Vous ne le souhaitez pas ..... 0
- Vous n'avez pas d'ordinateur à votre disposition ..... 0
- Vous n'avez pas trouvé de logiciel adapté ..... 0
- Vous avez besoin d'une formation complémentaire en informatique .... 0
- Autre raison (à préciser) ..... 0
3. Si vous l'utilisez :
- a) précisez avec quel public :
- à l'école primaire... 0                      au collègue ... 0
- au lycée..... 0                                  ailleurs (où ?)..0
- b) quel matériel est à votre disposition ?
- M05 ou T07 individuel ..... 0
- M05 ou T07 en nanoréseau ..... 0
- compatible PC ..... 0
- autre (à préciser) ..... 0
- c) les logiciels que vous utilisez sont :
- ceux du commerce..... 0
- ceux quevous avez écrits ..... 0
- ceux que vos amis ont écrits ..... 0
4. Si vous avez écrit des logiciels,
- a) quels en sont les sujets ? ..... 0
- b) sont-ils interactifs ? ..... 0
- c) à quels élèves sont-ils destinés ? ..... 0
- d) quel environnement est nécessaire à leur fonctionnement ? .... 0
- e) avez-vous diffusé ces logiciels ? Oui ..... 0 Non ..... 0
5. Si oui, comment s'effectue cette diffusion ?
- a) publication de listings ..... 0
- b) diffusion de disquettes par un éditeur ..... 0
- c) diffusion de disquettes par une association ..... 0
- d) autre (à préciser) ..... 0
6. Si non,
- a) vous jugez que vos logiciels sont trop peu performants pour être publiés ..... 0
- b) la diffusion de vos logiciels ne vous intéresse pas ..... 0
- c) la complexité de la démarche vous a arrêté ..... 0
- d) souhaitez-vous que les listings de vos programmes soient publiés?0
- e) souhaitez-vous que vos logiciels soient diffusés sous forme de disquettes (précisez les modalités de cette diffusion éventuelle..0
7. Quelles sont vos suggestions concernant l'informatique appliquée à l'enseignement de l'astronomie ? .....
- .....

COMMENT TROUVER LE RAYON DE L'ORBITE GEOSTATIONNAIRE

L'orbite géostationnaire d'un satellite artificiel est parcourue par le satellite avec une période égale à celle de rotation de la Terre, c'est-à-dire d'un jour. Il est facile de retrouver la valeur de son rayon, si l'on se souvient de la troisième loi de Kepler, appliquée à l'ensemble des satellites de la Terre:

$$a^3/T^2 = G M_T M_S / 4\pi^2 = \text{Cte}$$

Pour la Lune,  $a_L = 384\,000$  km et  $T_L = 27,3$  jours: pour le satellite,  $T_S = 1$  jour

Il en résulte que  $a_S = a_L / 27,3^{2/3} = 42\,000$  km, soit à peu près 6,6 rayons terrestres.

## A LA DECOUVERTE DES CONSTELLATIONS D'HIVER

### JE M'INFORME ET JE RETIENS

En astronomie les étoiles qui constituent une constellation reçoivent une désignation qui utilise l'alphabet grec. Voici les diverses lettres de cet alphabet curieux, si utile aux astronomes pour nommer les étoiles.

$\alpha$ alpha	$\epsilon$ epsilon	$\iota$ iota	$\nu$ nu	$\rho$ rho
$\beta$ béta	$\zeta$ dzéta	$\kappa$ kappa	$\xi$ xi	$\sigma$ sigma
$\gamma$ gamma	$\eta$ eta	$\lambda$ lambda	$\omicron$ omicron	$\tau$ tau
$\delta$ delta	$\theta$ théta	$\mu$ mu	$\pi$ pi	$\upsilon$ upsilon

$\phi$  phi  
 $\chi$  khi  
 $\psi$  psi  
 $\omega$  oméga

Ainsi une étoile pourra être désignée comme cela  
 l'étoile  $\alpha$  Orion , son identité simplifiée.  
 l'étoile alpha d'Orion , son identité  
 l'étoile Bételgeuse , son NOM PROPRE

Cependant les étoiles étant très nombreuses, certaines portent un numéro et la plupart n'ont pas de NOM PROPRE.

### DANS LA CONSTELLATION D'ORION

Cette magnifique constellation d'hiver contient des étoiles très brillantes. Celle qui a l'éclat le plus fort est l'étoile Bételgeuse, puis vient la seconde qui est Rigel et en troisième position Bellatrix.

Il existe aussi des étoiles de plus faible éclat comme celle du milieu du baudrier d'Orion qui est Ainilam.

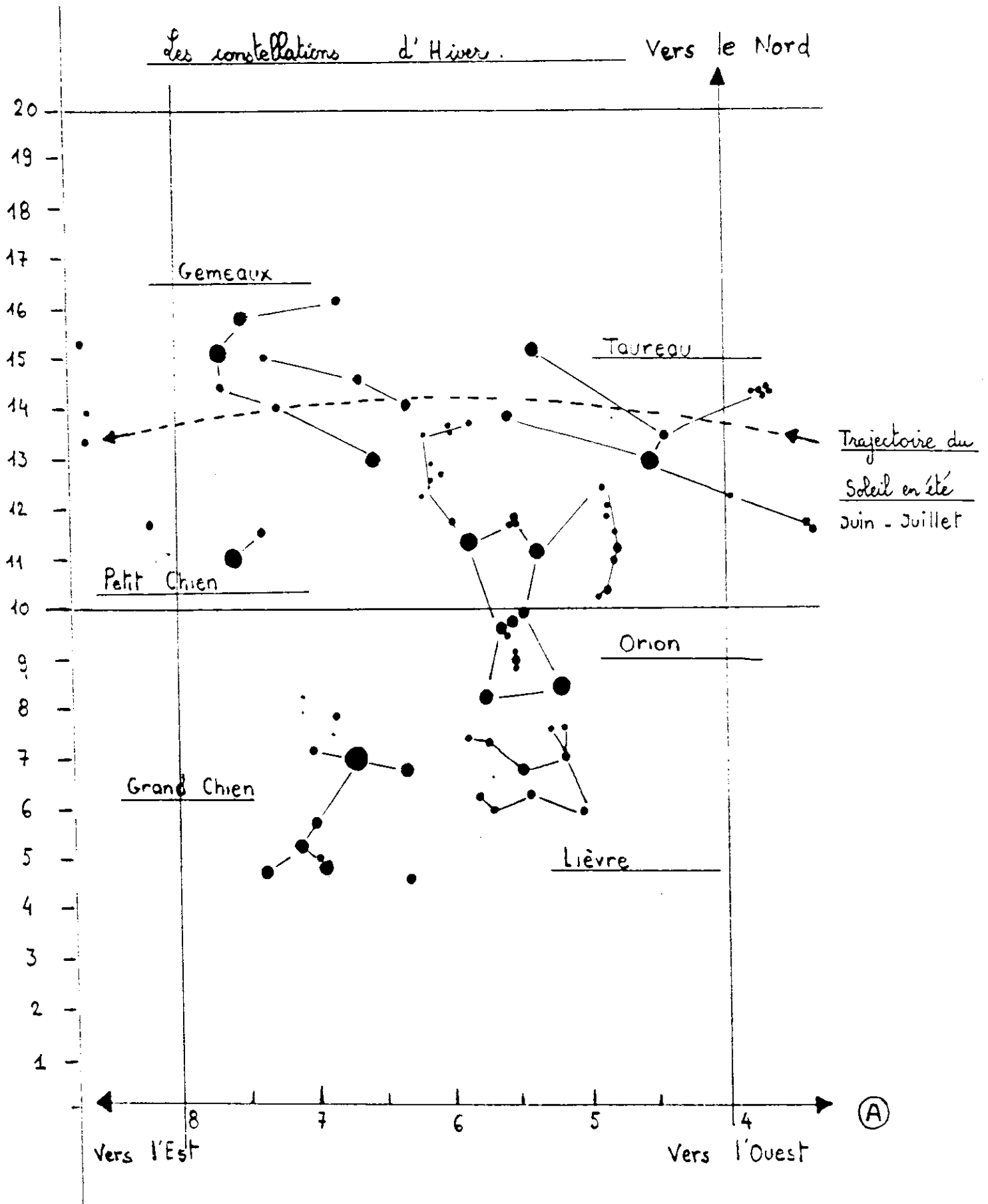
#### MON PREMIER TRAVAIL

Je remplis le tableau suivant en me servant des renseignements de la fiche.

Lettre de l'alphabet grec	j'écris	son identité	son NOM POPRE
$\alpha$			
			RIGEL
		gamma d'ORION	
	epsilon		
$\pi$			TABIT
	iota		

J'associe les étoiles à une caractéristique du corps d'ORION

- L'épaule gauche est représentée par \_\_\_\_\_
- Le glaive contient l'étoile \_\_\_\_\_
- Le bouclier passe par l'étoile \_\_\_\_\_
- Le pied gauche est représenté par \_\_\_\_\_
- La massue contient l'étoile \_\_\_\_\_



Écrivez le Nom Propre des étoiles qui ont les éclats les plus forts.



MON SECOND TRAVAIL

Je choisis des couleurs particulières et je les indique en face des noms :

- Une couleur pour la massue d'Orion
- Une couleur pour le visage d'Orion
- Une couleur pour le bouclier d'Orion
- Une couleur pour la ceinture ou baudrier d'Orion
- Une couleur pour le glaive d'Orion
- Une couleur pour le vêtement d'Orion
- Une couleur pour les membres d'Orion


Je colorie avec la même couleur les étoiles sur la carte de la constellation.

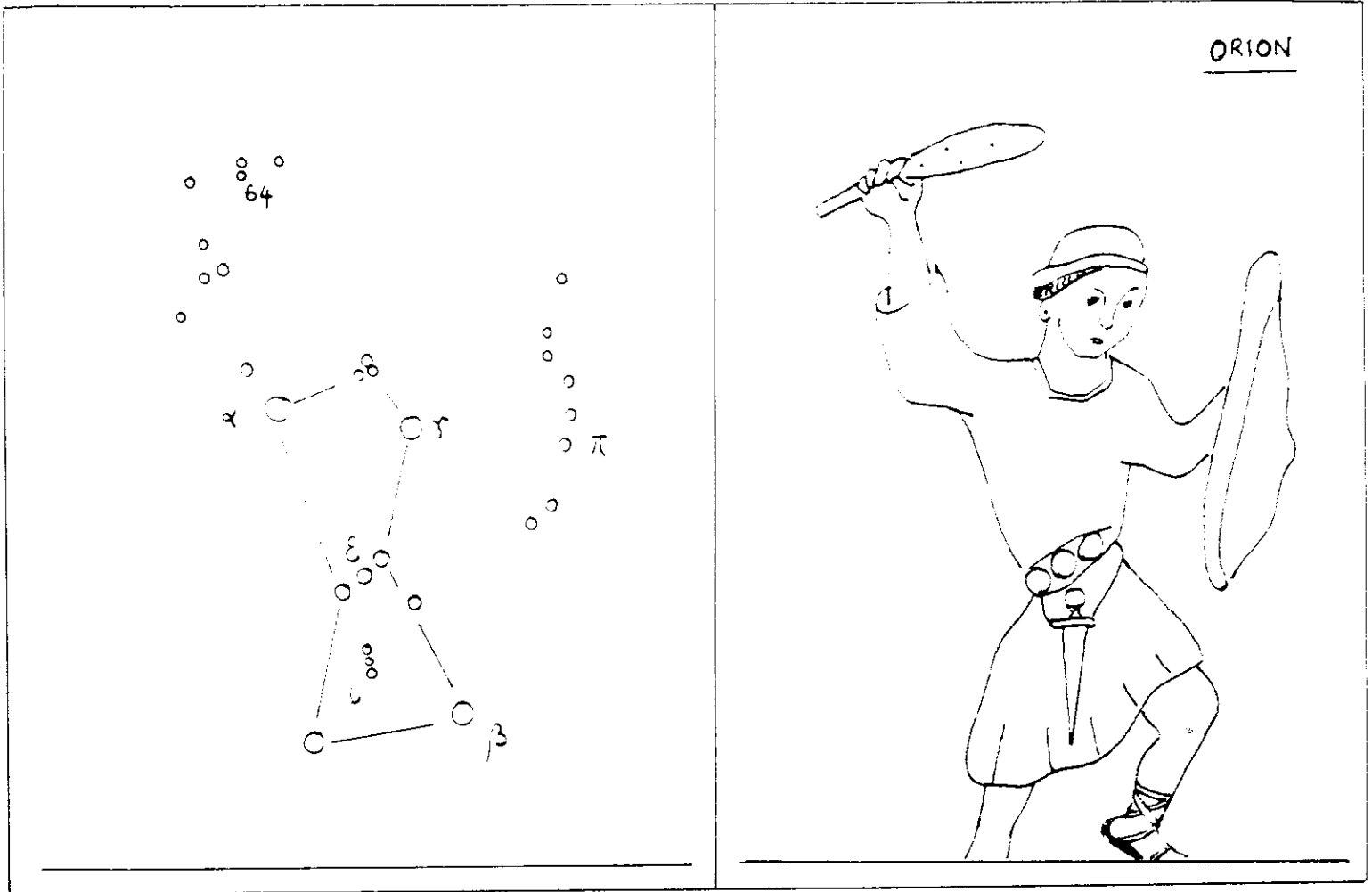
J'utilise les symboles

- < (plus petit que ou inférieur à)
  - > (plus grand que ou supérieur à)
- pour compléter les comparaisons suivantes.

éclat de Bételgeuse	éclat de Tabit
éclat de iota d'Orion	éclat de Alnilam
éclat de Tabit	éclat de Bellatrix
température de $\alpha$ Orion	température de Rigel
diamètre de Bételgeuse	diamètre du Soleil

J'indique VRAI ou FAUX en face des affirmations suivantes. Je corrige les affirmations fausses.

Les affirmations	Mon jugement	La correction
RIGEL est l'étoile qui forme l'épaule d'Orion		
Une étoile rouge est plus chaude qu'une étoile bleue		
Bételgeuse est une étoile rouge.		
Les étoiles sont à des distances variables de la Terre.		
Les étoiles sont des soleils plus petits que le notre.		
Une planète reste toujours à la même place dans le ciel.		
Orion était un dieu immortel		
Le Soleil ne passe jamais dans la constellation d'Orion		
Toutes les étoiles portent un NOM PROPRE.		



### LES LEGENDES D'ORION, LE CHASSEUR DU CIEL

Complétez le texte en utilisant les termes proposés:

Orion n'est pas un dieu mais un ..... de la mythologie grecque. Il voyageait beaucoup et avait une ...  
..... incroyable.

Il était si grand qu'il pouvait marcher au fond de la mer et garder ..... au dessus de l'eau.

Il disait qu'il était capable de vaincre n'importe quel ..  
..... en combattant avec son bouclier, .....  
et sa massue.

Ceci attira la ..... de Héra, l'épouse du dieu  
....., qui décida de le vaincre avec un animal insignifiant, .....

En effet cet animal venimeux piqua mortellement Orion.

Les dieux en souvenir du fabuleux guerrier, décidèrent de le transformer en une magnifique ..... et éloignèrent le ....., transformé lui-aussi en constellation, de manière à ce que lorsque l'un se levait à ....., l'autre se couchait à l'.....

Les termes cachés:

LA TETE, FORCE, HEROS, ANIMAL, SON GLAIVE, SCORPION, JALOUSIE, ZEUS, CONSTELLATION D'HIVER, OUEST, EST, LE SCORPION.

## L'ASTROLABE PLANISPHERIQUE

L'astrolabe, comme l'indique l'étymologie, est un instrument qui montre la position des astres par rapport à la Terre. En principe, pour réaliser un astrolabe, il suffit de représenter la sphère terrestre et la sphère céleste et de placer ces deux sphères l'une par rapport à l'autre dans la position qu'elles occupent au moment considéré. C'est ce dispositif qu'ont adopté les premiers astronomes en construisant des sphères armillaires et des astrolabes sphériques.

D'une façon générale, quand on parle d'astrolabe, on sous-entend astrolabe planisphérique, ce qui sera le cas dans la suite. L'astrolabe permet de trouver l'heure pendant la nuit à partir de la mesure de la hauteur d'une étoile au-dessus de l'horizon et, pendant le jour, en se servant du Soleil. C'est aussi une carte du ciel simplifiée ; on peut ainsi prévoir les heures de lever et de coucher du Soleil ainsi que d'autres étoiles selon le jour de l'année, de même que les directions du lever et du coucher de ces astres.

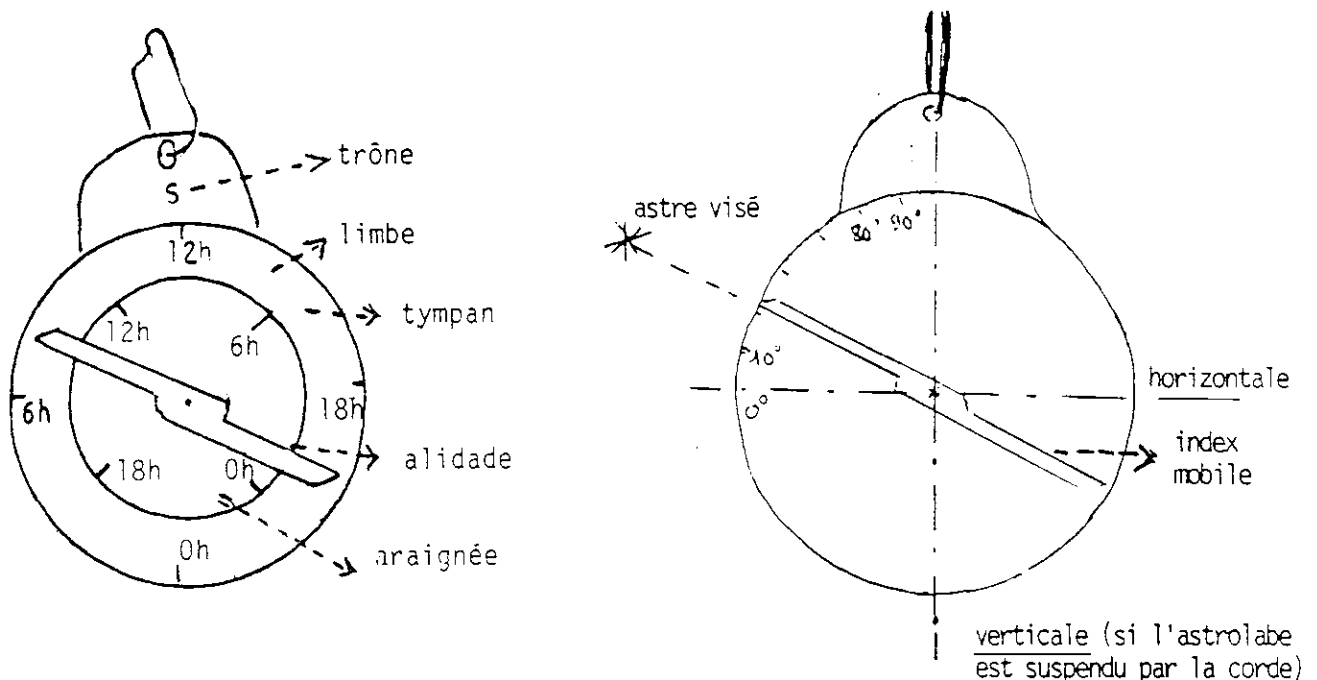
Description sommaire de l'astrolabe et définition de quelques mots spécifiques

Le tympan est une pièce en carton circulaire avec une excroissance, le "trône" où se trouve enfilée la corde permettant de suspendre d'ensemble. Sur le tympan sont tracés les cercles qui sont les projections sur le plan équatorial des cercles de hauteur et des cercles d'azimut du lieu où l'on utilise l'astrolabe. Si on change de lieu, il faut changer de tympan ; les astrolabes anciens possèdent en général des jeux de tympan.

L'araignée est un disque de rhodoïd sur lequel sont tracés les cercles qui sont la projection sur le plan équatorial des tropiques, de l'équateur et de l'écliptique (gradués en mois).

Une alidade graduée en déclinaisons permet de faire la correspondance entre les systèmes de coordonnées horizontales et équatoriales.

Au verseau du tympan, figure une graduation en degrés permettant, grâce à l'index mobile, de mesurer la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon ; il suffit de suspendre l'astrolabe verticalement et de repérer la direction de l'astre, étoile la nuit, Soleil le jour.



Lors du colloque CLEA d'avril 1989, Cécile Schulman a développé le sujet en montrant bien tout l'intérêt de la réalisation de ce modèle. Nous sommes heureux de commencer ici la publication de son exposé qui avait enthousiasmé ses auditeurs.

VISION PLANE DES MOUVEMENTS CÉLESTES

à quelques latitudes critiques

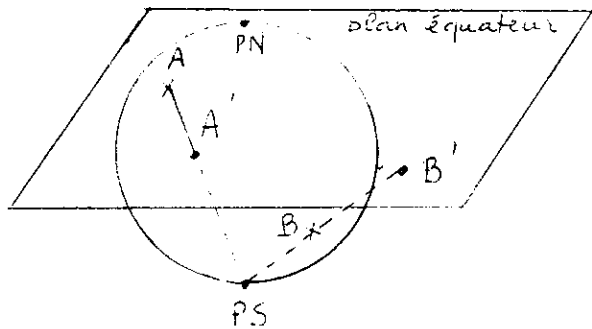
Abréviations:	Latitudes
PN	Pôle Nord
CP	Cercle polaire
45°	
TC	Tropique du Cancer
EQA	Equateur

Dates critiques	
SH	Solstice d'hiver
SE	Solstice d'été
EQI	Equinoxe

Voici la réduction de modèles qu'on fabrique habituellement en format 21x29,7. (Universités d'été par exemple). Bien sûr, il n'est pas question de concurrencer les représentations en volume. Ces modèles n'expliquent rien mais peuvent aider à fixer les idées de celui qui a compris les mouvements célestes apparents pour l'observateur terrestre. Ils peuvent servir tout simplement d'aide-mémoire pour le géographe ou l'amateur astronome. (Un tel jeu des 5 représentations aux latitudes choisies tient dans une pochette de permis de conduire)

I) Deux plans l'un sur l'autre

1) Type de projection: Astrolabe et carte céleste ont en commun la projection de type stéréographique de pôle Sud, sur le plan équateur.



Pour éviter une trop grande dilatation de la figure par projection pour des étoiles telles que B, on sait que la carte céleste modifie légèrement la projection en rendant la variation en déclinaison linéaire (voir l'index), ce qui donne pour la voûte céleste:

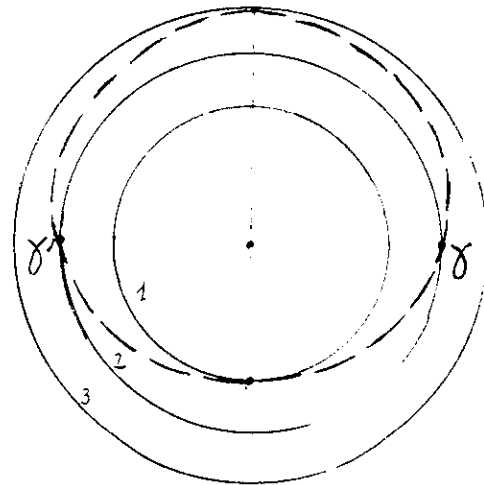
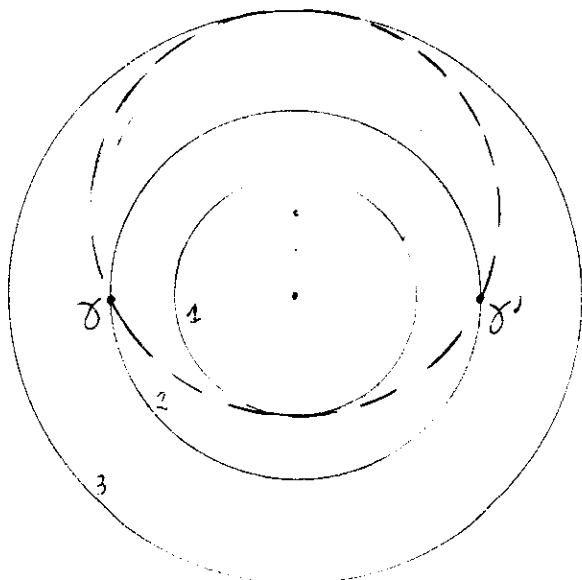
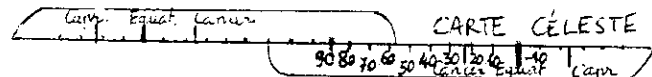
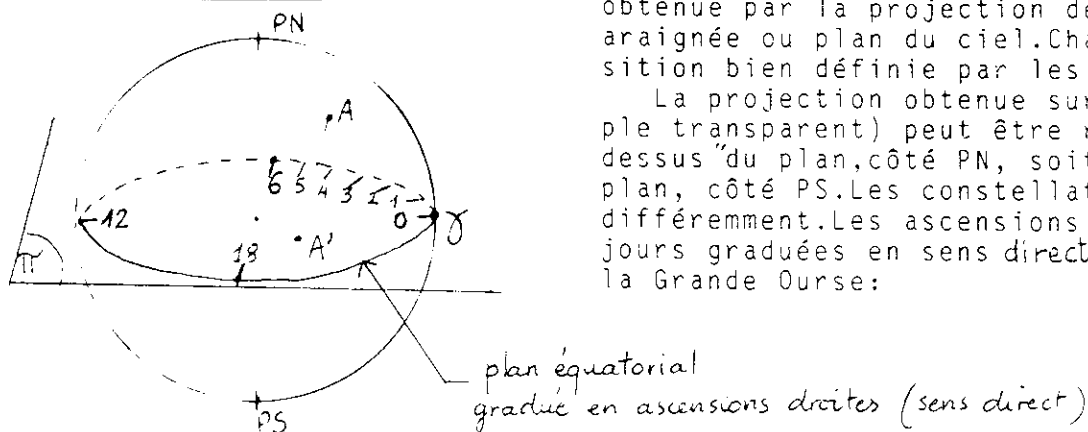


fig 1

Les cercles (1), (2), (3) respectivement Cancer, Equateur, Capricorne sont aussi les trajectoires diurnes du soleil aux dates critiques SE, EQI, SH.

2) Orientation:

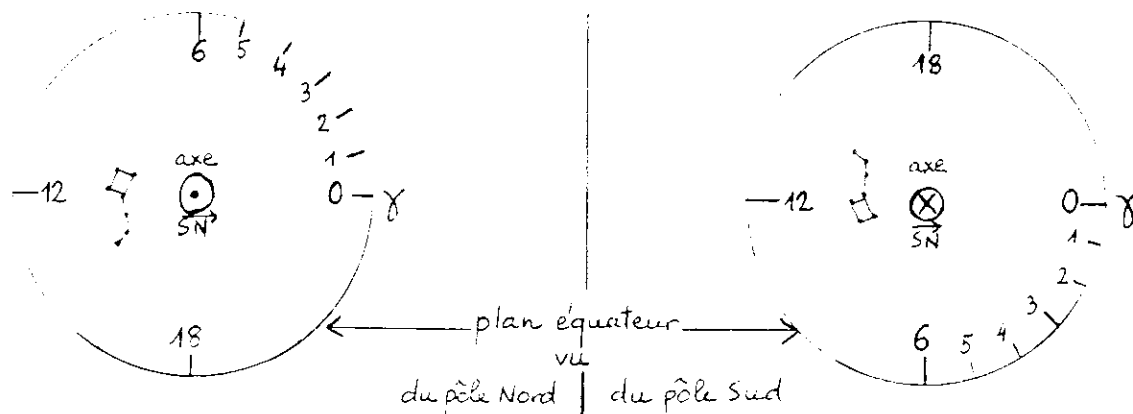


La trace de la voûte céleste sur le plan  $\pi$  obtenue par la projection décrite est appelée araignée ou plan du ciel. Chaque astre a sa position bien définie par les paramètres  $\alpha, \delta$ .

La projection obtenue sur le plan (par exemple transparent) peut être regardée soit d'au-dessus "du plan, côté PN, soit d'au-dessous" du plan, côté PS. Les constellations seront vues différemment. Les ascensions droites sont toujours graduées en sens direct. Voici par exemple la Grande Ourse:

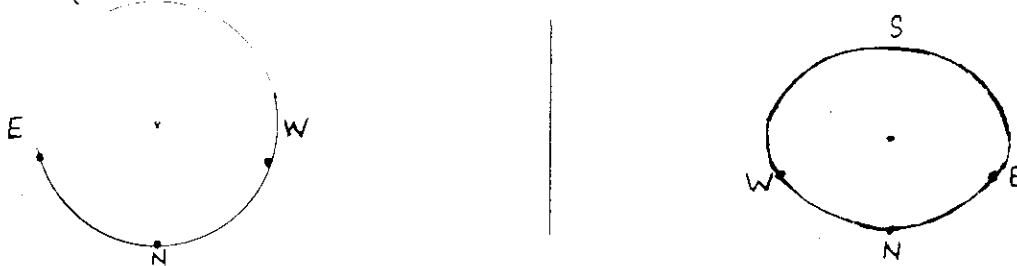
Majorité des astrolabes

Majorité des cartes célestes



(vers) S

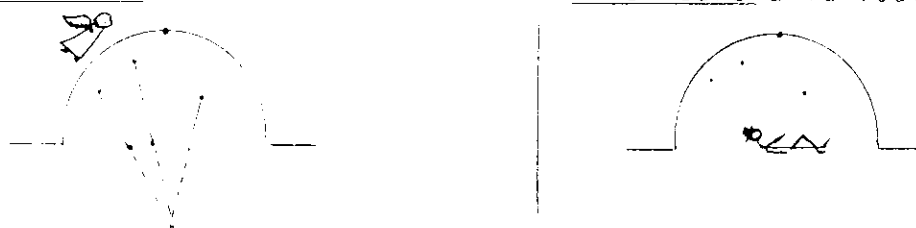
pour les sphères locales



les horizons semblent présenter des orientations contradictoires. Il n'en est rien. On peut dire qu'aux problèmes de projection près, (la projection n'est pas orthogonale), en imaginant la voûte céleste en plexiglas semé d'étoiles peintes, il s'agit des visions respectives:

extérieure à la voûte céleste

intérieure à la voûte céleste



On utilisera donc en général

l'astrolabe posé horizontalement, en imaginant la vision extérieure, constellations inversées par rapport à la réalité.

la carte céleste au dessus de sa tête, constellations vues comme dans la réalité.

II) Conséquence: aspect des représentations

A gauche Astrolabe

A droite Carte céleste

Proj. stéréographique

Proj. stéréog. modifiée

1) Projection de la voûte céleste: voir fig.1

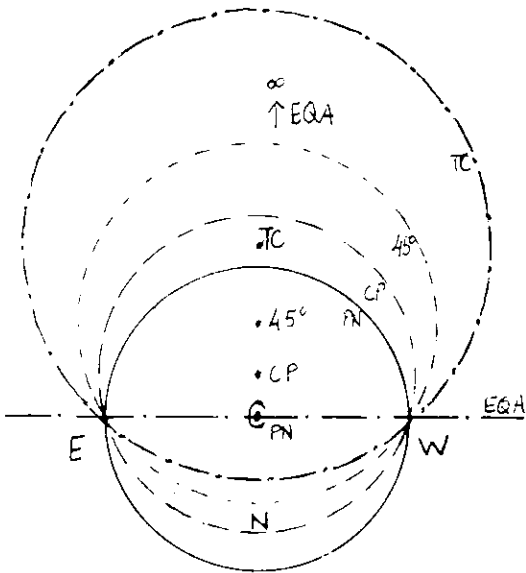
équateur: cercle  
écliptique: cercle tangent aux  
cercles des tropiques

équateur: cercle  
écliptique: courbe tangente aux  
cercles des tropiques

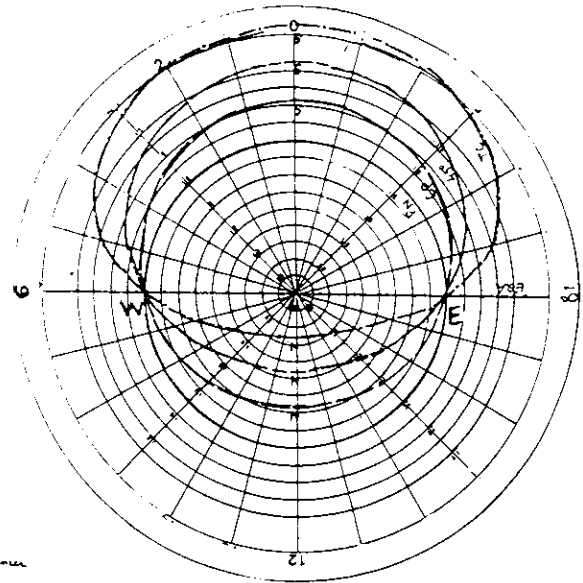
2) Projection de la sphère locale simplifiée:

(Horizon et Zénith selon la latitude)

A) Horizon et points cardinaux



→ ORIGAN  
PN — pôle nord  
CP — cercle polaire  
45° — 45°  
TC — tropique du cancer  
EQA — équateur



ASTROLABE

CARTE CÉLESTE  
horizon selon la latitude (φ)

Cercles horizon (etc) leur centre selon la latitude φ

$$\text{angle } CEC' = 90^\circ - \varphi = \chi \text{ latitude}$$

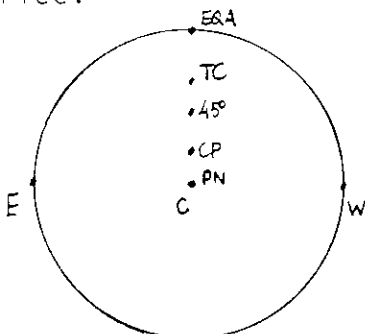
δ: déclinaison du point de l'horizon, d'angle horizon H.

$$\tan \delta = \frac{\cos H}{\tan \varphi}$$

Ces courbes ont toujours en commun les points horizon Est (E), et horizon ouest (W), qui sont sur l'équateur quelle que soit la latitude.

B) Zénith

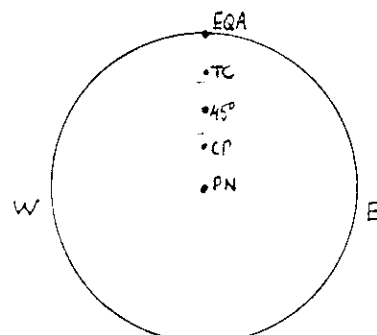
Dans les deux représentations le zénith passe du pôle à l'équateur, les différences légères dans sa position venant de la projection modifiée.



ASTROLABE

Positions du zénith (Z') selon la latitude φ

$$\text{angle } CEZ' = \frac{90^\circ - \varphi}{2} = \frac{\chi}{2}$$



CARTE CÉLESTE

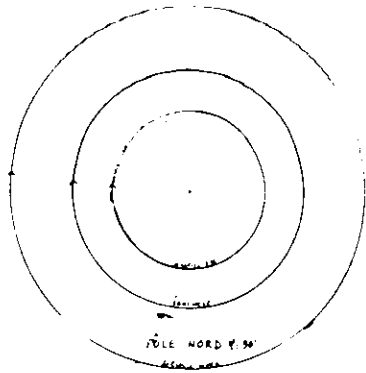
Positions du zénith (Z') selon la latitude φ

$$\delta_{Z'} = \text{déclinaison du zénith} = \varphi$$

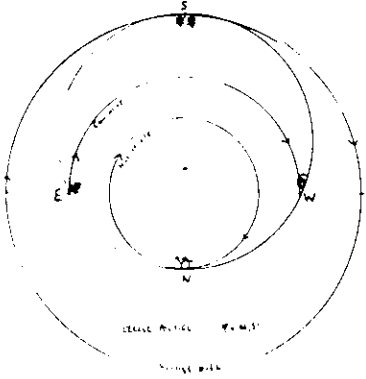
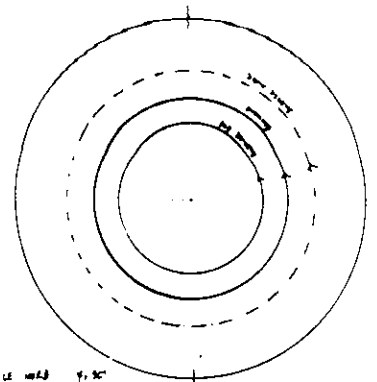
voir "astrolabe simplifié"

III) Résultat: 1) Comparaison des deux représentations page suivante

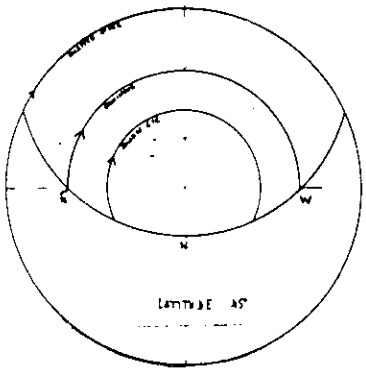
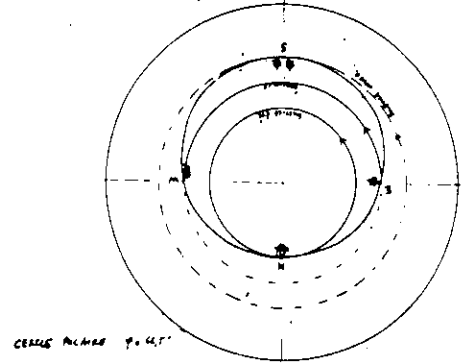
Voir sur chaque schéma la sphère locale et les trajectoires du soleil aux dates critiques.



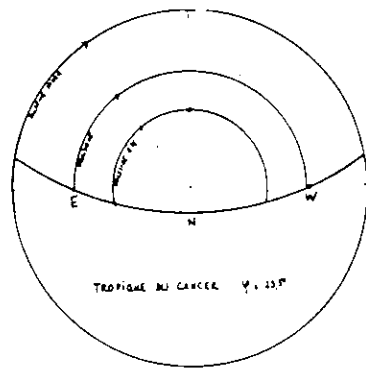
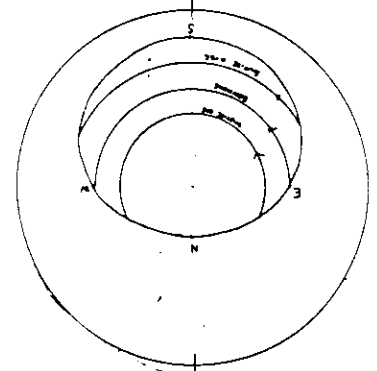
POLE NORD



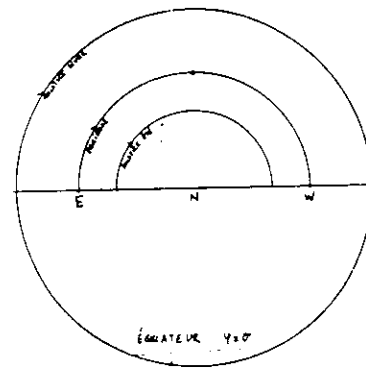
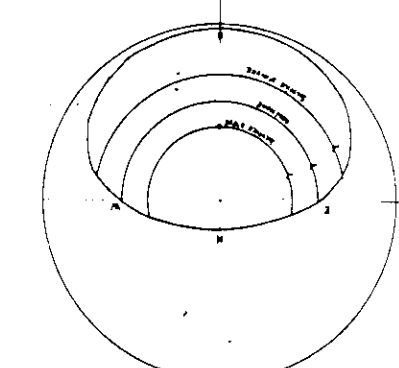
CERCLE POLAIRE



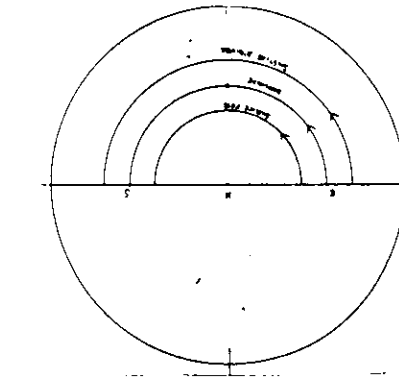
45°



TROPIQUE DU CANCER



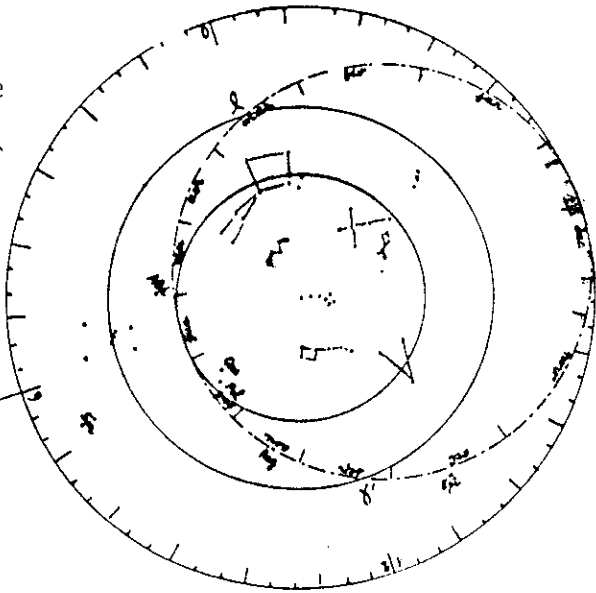
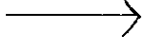
EQUATEUR



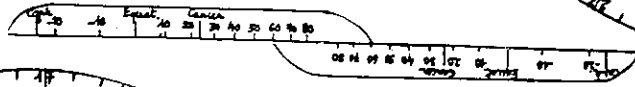
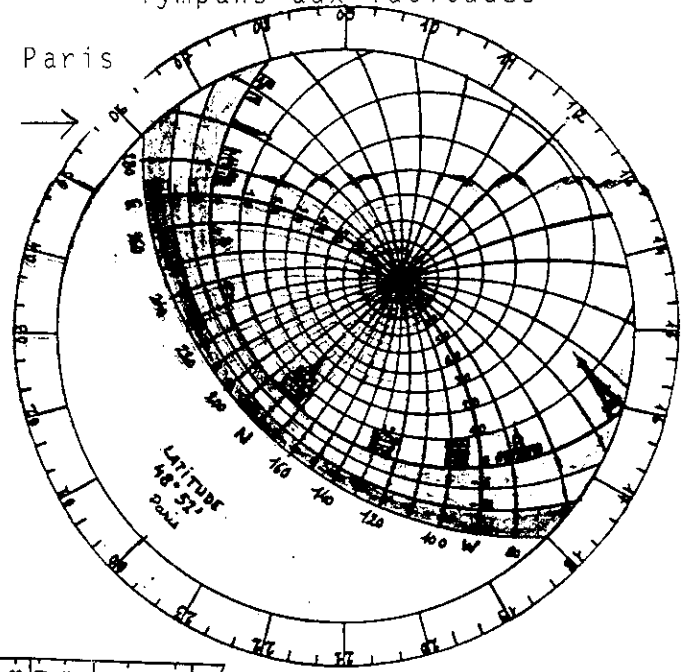


Tympan aux latitudes

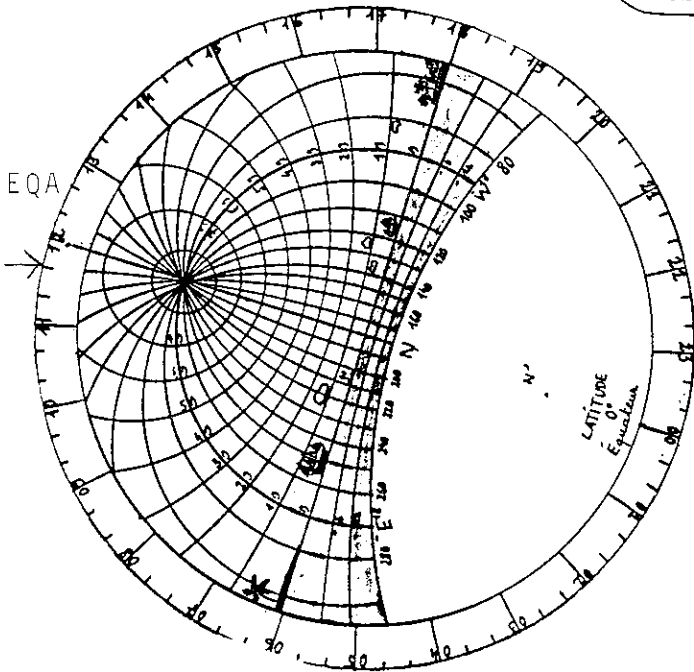
Araignée  
à  
décalquer



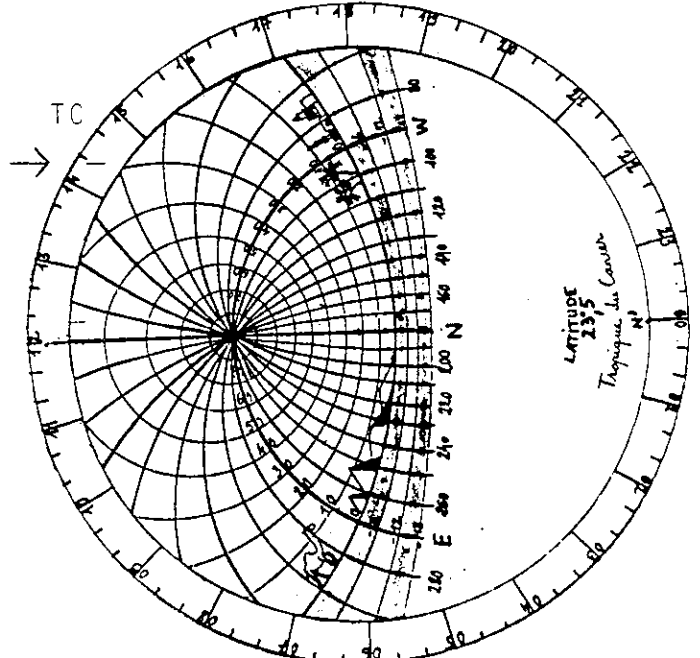
Paris



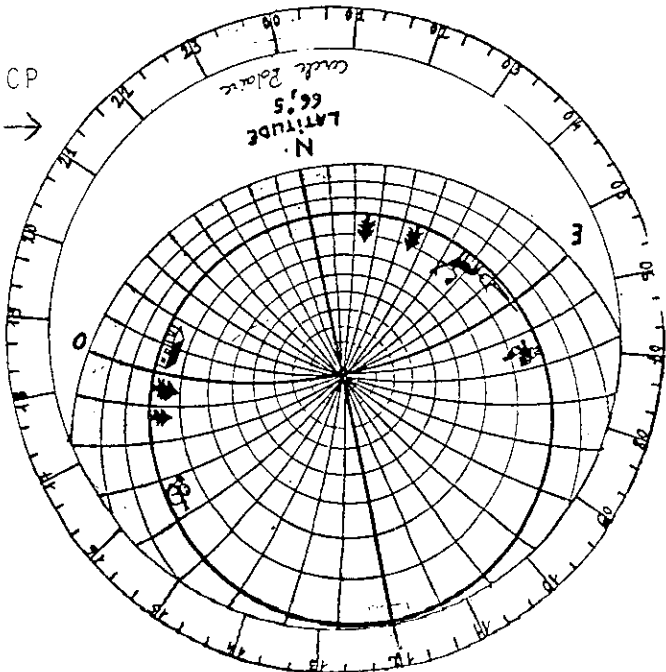
EQA



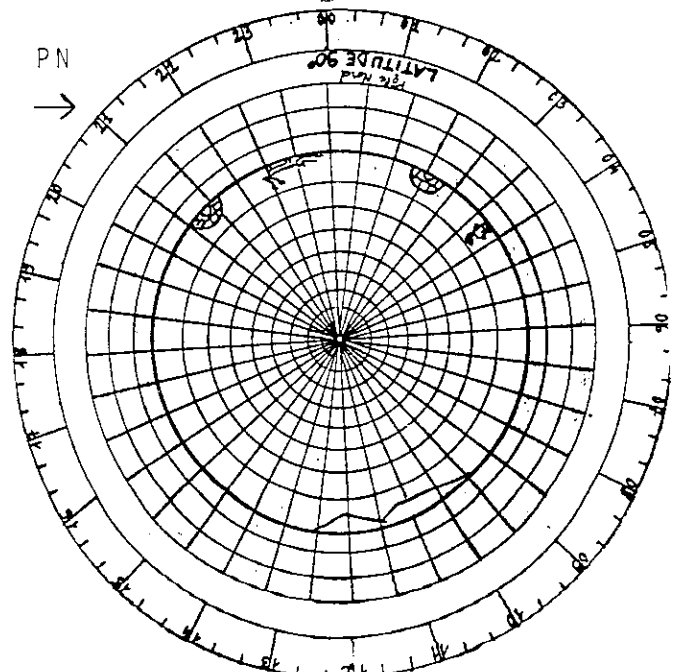
TC



CP



PN



3) Informations lisibles:

±Ce sont, en peu de place, toutes celles qu'on lit classiquement sur les sphères pour ces latitudes. Entre autres:

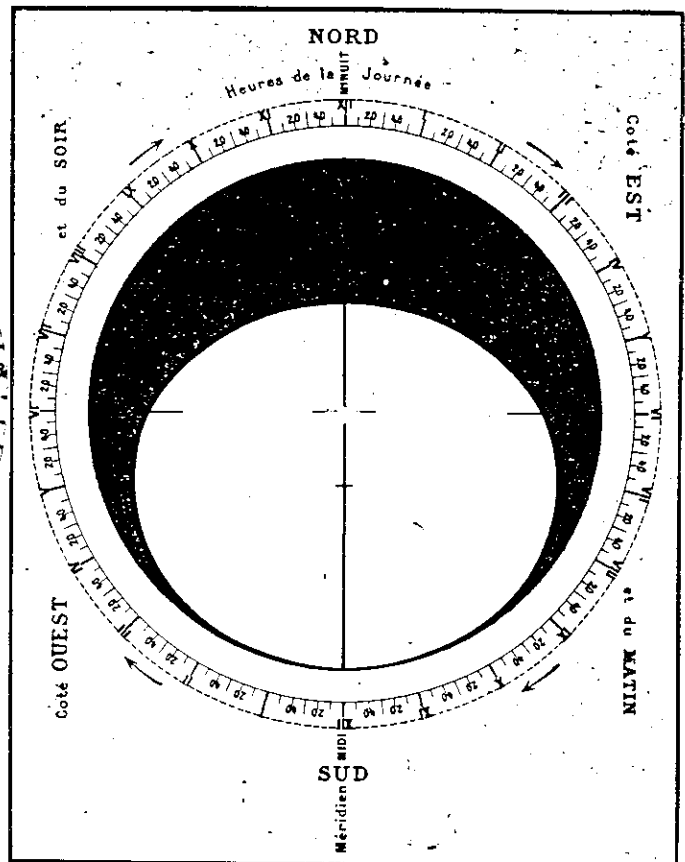
- EQA: Soleil au zénith à l'équinoxe (culmination)
  - "  "  entre zénith et norizon Nord pour printemps et été
  - TC: Soleil culmine au zénith au SE
  - CP: Classique soleil de minuit (SE), ou moins connue pleine lune de midi (SH); soleil invisible au SH, etc...
  - PN: cercles trajectoires du soleil parallèles à l'horizon.
  - durées du jour, étoiles toujours visibles, levers/couchers héliaques...
- ++Si on utilise l'astrolabe complet, quadrillé en hauteurs et azimuts, (page précédente), on peut lire les renseignements précis suivants:
- Azimuts de levers et de couchers des astres
  - Durée des crépuscules
  - Hauteur des astres, pas seulement à la culmination
  - Angle de lever/coucher du soleil par rapport à l'horizon...

IV) Retour sur l'orientation

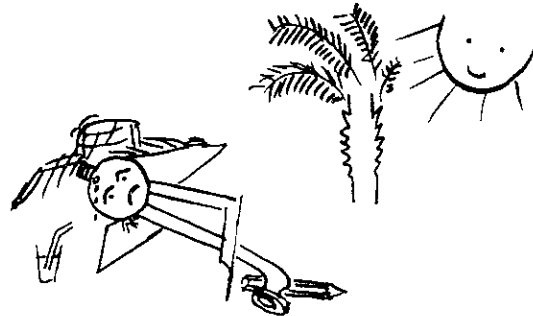
Selon sa préférence, chacun choisit l'orientation qui lui convient le mieux: Modèle posé, vision extérieure, ou modèle tenu au-dessus de la tête, vision intérieure à la sphère céleste, plus conforme à notre état d'observateur terrestre.

Pour être en accord avec les représentations usuelles, dont celles qui se fabriquent à l'université d'été, j'ai décrit l'astrolabe en vision extérieure, et la carte céleste en vision intérieure. Mais il n'y a là rien d'impératif. On peut effectuer des symétries/plan méridien, pour la sphère locale, et un retournement de l'araignée face pour face. On passe ainsi facilement d'une vision à l'autre.

Pour preuve que tout existe, voici un plan du ciel paru à la fin des années 20 en encart dans la revue Le Ciel. On y voit les preuves d'une projection stéréogr. modifiée (horizon et écliptique non circulaires), et cependant les constellations inversées et les points cardinaux notés révèlent la vision extérieure, qu'il faut se garder, on le voit, d'appeler vision astrolabe, puisque finalement, tout est possible.



L'ASTROLABE DU DÉBUTANT



S'il vous plait, dessine-moi un astrolabe...

Un jour que je travaillais depuis longtemps sur une construction d'astrolabe, j'étais venue à bout de l'épure latitude  $23^{\circ}30'$ . J'en étais au tracé du tympan "Tropique du Cancer"; mes outils envahissaient toute la table. Il faisait chaud sous ces almuncantaras et le compas maugréait des injures à mon intention, demandant du répit. Alors vous imaginez ma surprise à la fin du jour, quand une drôle de petite voix m'a sortie des sables du désert. Elle disait:

-S'il te plait, dessine-moi un astrolabe!

-Hein!

-Dessine-moi un astrolabe...

Je le regardai poser cette question avec des yeux tout ronds d'étonnement. Il n'avait en rien l'apparence d'un enfant perdu au milieu du désert, à mille milles de toute région habitée. Aussi absurde que cela semblât, je pris une feuille quadrillée, un compas; je traçai à la hâte un horizon sur la feuille d'écolier, et comme j'étais pressée de finir mes tracés je lui donnai ce dessin sommaire. Je fus presque fâchée de l'entendre ajouter:

-Mais ça ne suffit pas, je veux voir se lever le soleil, voir à quelle heure...

-Faute de patience, je griffonai sur un calque un deuxième cercle et lui tendis l'attache parisienne:

-Tiens, débrouille-toi. Ça, c'est le cercle écliptique, le soleil que tu veux est dessus.

Mais je fus bien surprise de voir s'illuminer le visage de mon jeune curieux.

-C'est tout à fait comme ça que je le voulais!

Je me sentis soudain honteuse de ma hâte, et, bien sortie du rêve, je m'excusai un peu:

-Il n'est pas terrible, mon petit dessin...

Il pencha la tête vers le papier.

-Pas si petit que ça... Le ciel, c'est tellement grand!

Et c'est ainsi que nous pouvons tous, avec un peu d'attention, faire connaissance avec de petits princes.



Et tu regardais le crépuscule  
chaque fois que tu le désirais ...

St Exupéry . Le Petit Prince, chapitre VI

## LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

---

### ELEMENTS D'HISTOIRE DES SCIENCES

sous la direction de Michel Serres ; 576 pages ;  
éd Bordas, Paris 1989 (295 F).

Ne dites pas que c'est gros livre cher. C'est une mine de réflexions dont vous n'épuiserez pas la richesse en une seule lecture. Pourquoi ? Simplement parce que l'ouvrage est un modèle de ce que nous apporte l'histoire des sciences si on la conçoit non pas seulement comme un récit anecdotique de la vie des savants mais bien plutôt comme centrée sur la difficile genèse des idées fécondes. Ce qui ne signifie pas qu'il faut s'abstenir de lire la vie des savants, il en est de fort instructives. Surtout il n'est jamais inutile de se rappeler que la science est une production de la société humaine ; les tensions au sein de cette société, ses besoins et ses ambitions, ont une influence sur les institutions et sur les hommes, sur leurs productions aussi bien culturelles qu'industrielles. L'histoire qui nous intéresse consiste à dégager les grandes questions qui ont été plus ou moins bien posées dans leur époque et qui ont conduit plus ou moins facilement aux grandes découvertes et aux théories fécondes.

L'ouvrage dirigé par Michel Serres est le fruit du travail d'une équipe de onze personnes. Ce qui est peu et beaucoup. Peu car il y a plus de onze disciplines dans la maison de la science. Beaucoup si l'ouvrage n'entend pas se contenter de la juxtaposition d'études distinctes mais veut être le résultat de nombreuses confrontations, de longue concertation. Je crois que Michel Serres a réussi cette entreprise, entouré de philosophes, de mathématiciens, de physiciens et d'historiens. Ces auteurs ont pu se réunir longuement et à plusieurs reprises pour discuter leur conception de l'ouvrage, élaborer leur plan, coordonner leur production. Le plan s'organise en vingt-deux chapitres qui correspondent à ce qu'ils appellent des bifurcations, des moments et des questionnements qui marquent une nouvelle orientation dans la progression de la science. Depuis la première bifurcation retenue, Babylone, il y a quatre millénaires, à la vingt-deuxième sur l'invention de l'ordinateur. En passant par des bifurcations obligées comme "les débuts de la géométrie en Grèce", chapitre remarquablement traité par Michel Serres lui-même, ou "les affaires Galilée" par Isabelle Stengers.

Bien sûr, à regarder la table des matières, on peut craindre de ne trouver dans ces pages qu'une histoire très partielle - et par là même partielle - des la science. On se dit que si l'équipe Serres avait comporté tel astronome, tel mécanicien, elle aurait fait une part plus immédiatement visible à Newton ou à Einstein. Mais l'ouvrage ne prétend pas remplacer une histoire encyclopédique non plus qu'une histoire complète de chaque discipline. Seulement, à côté de ces études qui restent des références indispensables, ces Eléments - titre particulièrement bien choisi - apportent un supplément fondamental de réflexion dans une perspective pluridisciplinaire et interdisciplinaire.

Titre bien choisi : d'abord il fait référence à ces deux monuments que sont Les Eléments d'Euclide et, plus près de nous mais s'éloignant déjà dans l'Histoire, Les Eléments de Mathématique de Bourbaki. Mais il y a aussi une autre façon de lire le mot Eléments : avec la modestie nécessaire, réunir des éléments de réflexion pour tenter de comprendre comment se construit la connaissance scientifique. Et cela, on n'aura jamais fini de tenter...

Le livre se termine par un index (des noms propres et des mots-clefs), une bibliographie très riche par chapitre et surtout une chronologie quime paraît très remarquable. En trois colonnes : 1) les créations scientifiques, 2) les acteurs individuels et collectifs, 3) des éléments

pour un décor. Un exemple parmi d'autres : "1717. Jean Bernouilli, généralisation du principe des travaux virtuels ; naissance de D'Alembert ; extension de Paris (faubourgs St Germain et St Honoré).

Ce livre sera donc à sa place dans votre bibliothèque. C'est à dire que vous l'en sortirez souvent. Ce n'est pas un livre du genre de ceux qui aiment dormir sur les rayons. C'est un livre vivant qui a besoin d'être ouvert souvent et comme c'est un livre ami vous ne l'oublierez pas dans son coin.

#### LA PLURALITE DES MONDES

par Steven J. Dick ; traduit de l'américain par Marc Rolland ; 280 pages ; éd Actes Sud 1989 (160 F).

Etonnant ce problème de la pluralité des mondes. Alors que nos connaissances en astronomie et en biologie sont ce qu'elles sont en cette fin du vingtième siècle, la question reste posée (peut-être mieux) mais toujours sans réponse. Même en la décomposant en trois : 1) existe-t-il autour d'étoiles autres que le Soleil des systèmes planétaires ? (en 1963, Peter van de Kamp annonça la découverte possible d'une planète autour de l'étoile de Barnard, mais...) ; 2) comment s'assurer de l'existence d'êtres vivants sur d'éventuelles planètes ? 3) comment entrer en communication avec des civilisations extraterrestres, si elles existent ? Qu'on lise ou relise l'excellent livre d'Evry Schatzman, "Les Enfants d'Uranie" (éd Seuil, 1986) qui fait le point sur la manière dont on doit aujourd'hui se poser la question.

Le livre de S.J. Dick apporte un autre éclairage, celui de l'histoire. Il illustre bien comment l'évolution de la connaissance est caractérisée par l'interaction entre la théorie, la métaphysique, l'observation et l'imagination. L'auteur est astronome à l'U.S. Naval Observatory de Washington et historien des sciences. Il passe en revue toutes les façons dont le problème de la pluralité des mondes a été posé, de Démocrite qui affirme l'existence d'autres mondes et Aristote qui prétend prouver leur impossibilité, en passant par cette idée de Plutarque que la Lune est habitée, sinon elle ne servirait à rien.

Faute de données scientifiquement fiables, on ne s'est donc jamais abstenu d'échafauder des hypothèses ou de construire des théories. Aristote s'oppose à la pluralité : selon lui, le mouvement des corps est toujours dirigé vers le lieu naturel, les corps tombent sur la Terre ; il ne peut donc y avoir qu'un seul centre, celui de la Terre. Le monde est unique, Aristote l'a dit, on s'y tient longtemps. Thomas d'Aquin renchérit, le monde est unique puisque parfait. Il faudra des siècles pour que l'atomisme de Démocrite soit de nouveau envisagé. L'Anglais Henry More (1614-1687) émet l'idée que chaque étoile est un soleil avec ses planètes.

Intérêt de ces vieilles idées : comment ne pas s'étonner des interminables discussions sur l'habitabilité de la Lune ? Kepler lui-même y aurait vu des cités. Huygens, dans ses derniers écrits, le Cosmotheoros publié après sa mort en 1698 n'affirme-t-il pas que "les Mercuriens sont plus aériens et plus astucieux que nous."

Finalement, le livre de Dick est instructif mais je ne suis pas certain d'en avoir bien apprécié toutes les considérations métaphysiques. S'il complète, historiquement, le livre de Schatzman, c'est tout de même celui-ci que je recommanderai aux Collègues intéressés par la question

#### UN GRAND TOURNANT

Celui de la Révolution Française. La commémoration du bicentenaire a été l'occasion de nombreuses publications. En voici quelques unes.

Le numéro de juin 1989 de L'Astronomie s'intitule "L'Astronomie et la Révolution Française". A signaler en particulier des articles

sur l'administration de l'Observatoire de Paris à l'époque, sur le calendrier républicain, sur la décimalisation de la mesure du temps. J'ai été spécialement intéressé par l'article de Bruno Morando sur la création du Bureau des Longitudes.

Le calendrier républicain a fait l'objet d'une brochure spéciale éditée par le Bureau des Longitudes (service des ventes de l'Observatoire de Paris et au siège de la SAF).

Il est utile de rappeler La Méridienne (1792-1799) par Denis Guedj (272 p. ; éd Seghers 1987) qui relate comment Delambre et Méchain ont réalisé cette célèbre triangulation de Dunkerque à Barcelone.

Je désire faire une mention tout à fait spéciale pour un gros livre passionnant, NAISSANCE D'UN NOUVEAU POUVOIR : SCIENCES ET SAVANTS EN FRANCE (1793-1824) par Nicole et Jean Dhombres (940 pages ; Bibliothèque historique Payot, 1989 - 390 F).

Les Auteurs : une historienne et un mathématicien qui est aussi historien des sciences. Le projet : décrire un milieu scientifique, son fonctionnement, ses structurations sociales et humaines, ses évolutions, ses acteurs et leurs idéologies. Projet réalisé au prix d'une énorme documentation et d'un travail de plusieurs années. L'époque : de 1793 et la Convention Nationale à 1824, date de la parution des Réflexions sur la puissance motrice du feu de Sadi Carnot. Par conséquent, le temps d'un grand tournant, la naissance d'une communauté scientifique, la fondation d'institutions durables, en particulier dans l'enseignement scientifique, l'apparition des savants dans les milieux du pouvoir politique. Pour aboutir à la grande révolution industrielle que l'ouvrage de Carnot annonce.

La place manque, ici, pour analyser en détail ce gros livre. Il faut au moins signaler l'importance des milliers de citations avec leurs références, les indications biographiques en petits caractères qui sont souvent des romans palpitants en dix lignes ; l'index compte plus de 650 noms. Il est évident que ce livre a sa place dans les bibliothèques publiques et celles de nos lycées. La vôtre aussi si vous cherchez des renseignements sur Alire Delille ou Ambroise Fourcy...

#### CES ASTRONOMES FOUS DU CIEL

ou l'histoire de l'observation des étoiles doubles par Paul Couteau ; préface de Paul Baize ; 250 p. ; Edisud 1988.

Du même auteur, nous avons lu et signalé ici "L'Observation des étoiles doubles visuelles" qui avait paru en 1978 avec une préface de J.-C. Pecker (éd Flammarion). Ce premier ouvrage ne comportait qu'un bref historique qui est ici développé tout au long depuis Herschel jusqu'aux méthodes modernes, en particulier l'interférométrie. Paul Couteau spécialiste des étoiles doubles qui a beaucoup travaillé à la grande lunette de l'Observatoire de Nice (qui a un objectif de distance focale révolutionnaire 1789cm!) était bien placé pour écrire cette histoire.

#### ANNIVERSAIRES

1789 : Herschel découvre Mimas et Encelade avec son télescope de 122 cm. Heinrich Samuel Schwabe soupçonne l'existence d'une période dans l'activité solaire. Cassini III termine la grande carte de France.  
1889 : Naissance de Edwin Hubble (mort en 1954). Mort de Warren de La Rue, pionnier de la photographie astronomique. E.C. Pickering découvre la première binaire spectroscopique, Mizar.

(Renseignements tirés de Annuario della Specola Cidnea per l'anno 1989)

G.W.

## PHOTOGRAPHIE A LONGUE POSE AU T.60 AVEC UN CORRECTEUR DE CHAMP

---

---

### COMPTE-RENDU D'UNE MISSION EFFECTUEE AU PIC DU MIDI DU 16 AU 23 AOUT 1988

Depuis plusieurs années, un télescope de 60 cm de diamètre est à la disposition des amateurs au Pic du Midi. Il est géré par l'Association T.60 qui veille à sa maintenance et examine les demandes de missions qui lui sont adressées.

Les lecteurs des *Cahiers Clairaut* et les habitués des assemblées générales se souviennent certainement des articles et des interventions de nos amis Daniel Bardin et de Didier Buty qui comptent parmi les utilisateurs assidus du T.60. Daniel a même conçu et mis au point un spectrographe performant, qui est maintenant à la disposition des "missionnaires" du T.60. Nous avons voulu suivre ses traces et contribuer nous aussi à améliorer ce magnifique instrument qu'est le T.60.

-----

Beaucoup d'utilisateurs du T.60 se plaignent de la qualité médiocre des clichés à longue pose pris au foyer, principalement hors de l'axe. En effet, la grande ouverture relative de cet instrument (F/D:3,5) entraîne sur les bords du champ d'un 24x36 des aberrations (coma et astigmatisme) qui donnent aux étoiles l'allure de petites comètes qui semblent converger vers le centre optique.

Le seul moyen d'atténuer ce défaut consiste à intercaler, entre le plan focal et le miroir secondaire, un système optique appelé *correcteur de champ*, composé de deux lentilles de courbures adéquates. Ce dispositif a une puissance nulle et ne modifie pratiquement pas la distance focale du miroir primaire.

Le but de notre mission était de vérifier l'efficacité d'un tel correcteur, construit par nos soins, et associé à une platine photographique équipée d'un oculaire guide latéral, décrite dans *La photographie astronomique d'amateur* de P. Bourge, J. Dragesco et Y. Bargery. Le guidage latéral offre de réels avantages, dont le principal est d'éviter l'emploi d'une lunette guide en parallèle, et par là même d'éliminer les risques de flexions différentielles en cours de pose.

La lunette guide de 130 du T.60, en dépit de l'excellent oculaire réticulé dont elle est équipée, a parfois réservé de mauvaises surprises aux astrophotographes, comme l'atteste le cahier de coupole.

Le programme que nous nous étions fixé était le suivant:

1. Clichés avec et sans correcteur d'objets classiques, avec des temps de pose de l'ordre de 30mn. sur KODAK 2415 hypersensibilisé et sur FUJICHROME 1600.
2. Comparaison entre les deux systèmes de guidage, lunette guide en parallèle et oculaire latéral.

## I. LE MATERIEL UTILISE.

a) la platine : elle a été réalisée en dural de 5mm d'épaisseur. Deux améliorations ont été apportées au modèle présenté dans *L'astrophotographie d'amateur* :

- la tranche du disque inférieur porte sur trois roulements à billes disposés à 120°, ce qui rend la rotation de l'ensemble plus douce.

- un porte-oculaire, équipé de la même fixation que le boîtier photo (baïonnette Canon), permet de passer instantanément de la prise de vue à l'observation visuelle et vice versa. Cette souplesse d'utilisation est appréciable et facilite le centrage de l'objet à photographier, lequel n'est pas toujours visible à travers le dépoli de l'appareil.

Les prismes et l'oculaire guide : deux prismes de jumelles collés au baume du Canada sont montés sur une glissière qui autorise un déplacement radial de 15mm environ. Ce mouvement, combiné avec le mouvement de rotation général de la platine, permet la recherche de l'étoile guide.

Quant à l'oculaire guide, c'est un Plössl Clavé de 10mm de focale, débarrassé de sa monture d'origine, remplacée avantageusement par un bouchon vissant permettant une mise au point précise sur le réticule.

Ce dernier, en fil de cocon d'araignée, est éclairé latéralement par une LED rouge dont l'intensité lumineuse est réglable au moyen d'un potentiomètre.

b) le correcteur de champ est en borosilicate. L'épaisseur et la courbure des deux lentilles ont été calculées pour la focale du T.60 par Christian Canard.

## II. DEROULEMENT DE LA MISSION.

Notre premier travail fut de fixer sur le T.60 la platine et son correcteur, et surtout de déterminer le plan focal. Première surprise: l'allongement de la distance focale, que nous avions estimé à 10mm environ était finalement plus important que prévu : 25mm ( nous avons négligé l'épaisseur du verre qui est assez grande) . Il a donc fallu disposer des entretoises afin d'éloigner la platine de son support et de faire coïncider *grosso modo* le plan focal avec le plan du film.

Ensuite, et avant chaque cliché, nous avons fait la mise au point par focaultage sur une étoile brillante.

Les conditions météorologiques moyennes ( 3 nuits utilisables sur 7, et encore avec une transparence limitée par la présence d'un voile de cirrus) nous ont contraints de modifier notre programme initial: tous les clichés ont été faits avec le correcteur.

La troisième nuit (la meilleure!) nous laissera un souvenir cuisant: après plusieurs heures de prise de vues ( M8, Nébuleuse Oméga principalement), dont une pose de 50 mn, nous avons découvert avec



horreur que les perforations du film s'étaient déchirées lors du chargement de l'appareil, rendant impossible l'avancement du film... Inutile de préciser que, les nuits suivantes, nous avons surveillé avec un soin particulier la rotation de la molette de rembobinage à chaque réarmement!

Un mot enfin pour signaler l'accueil chaleureux dont nous avons bénéficié, de la part de l'astronome résident qui a tout fait pour faciliter notre séjour, mais aussi des astronomes professionnels et amateurs en mission en même temps que nous, avec qui nous avons eu des échanges fructueux.

## II. RESULTATS.

Nous avons choisi pour nos essais des "classiques": amas globulaires (M13), nébuleuses planétaires (M27, M8, M21), amas ouverts (M11, M17), des galaxies (M31, M33). Les premiers résultats sont prometteurs:

- tout d'abord, le correcteur de champ est efficace sur tout le champ du 24x36. Les clichés joints montrent des étoiles ponctuelles au centre comme aux bords:

- le guidage par oculaire latéral s'est lui aussi révélé satisfaisant. C'était pourtant à ce sujet que nous avons le plus d'inquiétudes: nous nous demandions si l'étoile guide extra-axiale serait suffisamment corrigée pour permettre un suivi correct. En réalité, malgré une légère ovalisation de l'image à l'oculaire, on ne constate aucune dérive appréciable sur le négatif, si l'on est attentif et un peu entraîné à agir instantanément sur les rappels.

Nous avons fait un cliché en utilisant la lunette guide. Le résultat obtenu semble bien confirmer la supériorité de l'oculaire latéral: en effet, malgré un suivi confortable et très précis, une dérive régulière est perceptible sur le négatif, laissant supposer une flexion de la lunette guide.

Un léger vignettage est perceptible sur les tirages couleur; il n'est pas provoqué par le correcteur, mais par le secondaire. Le champ de pleine lumière représente sur le film un cercle de 20mm de diamètre environ.

## III. PERSPECTIVES.

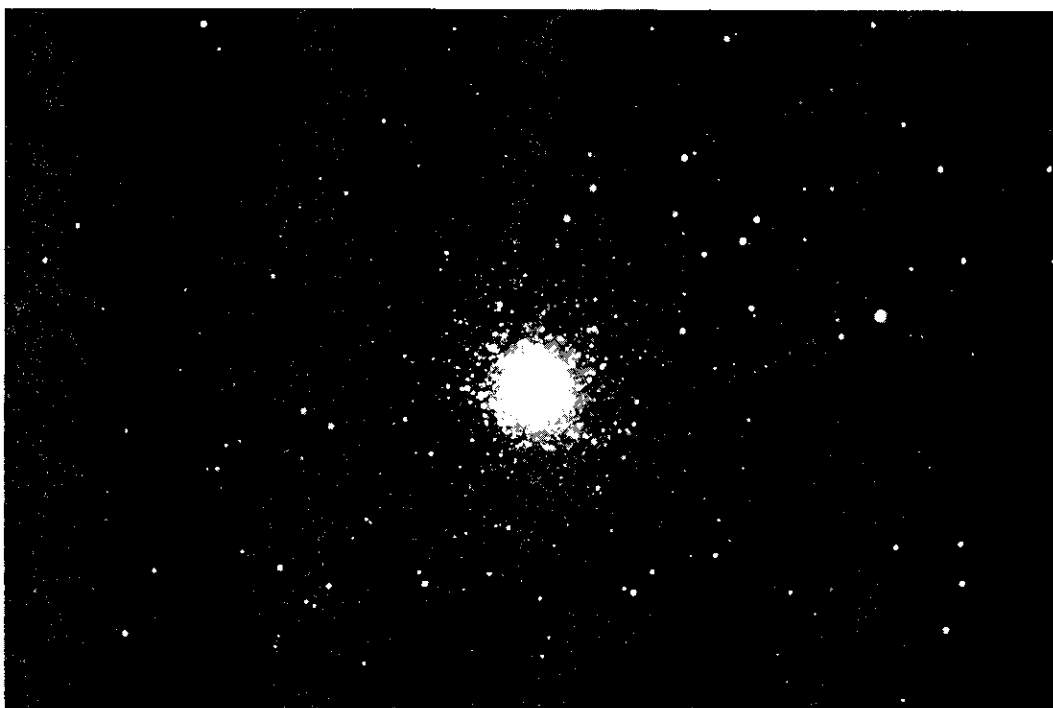
Les premiers résultats sont donc plus qu'encourageants. Le correcteur apparaît bien comme l'accessoire indispensable aux photographes du ciel profond. L'amélioration sensible de la qualité des images nous fait souhaiter vivement un prochain resurfaçage du primaire qui permettrait de tirer pleinement parti des avantages du correcteur de champ! Espérons que ce projet verra bientôt le jour. (1)

Avant de mettre le correcteur et la platine à la disposition des utilisateurs, plusieurs perfectionnements s'imposent, qui seront testés lors d'une prochaine mission:

- d'abord, un traitement anti-reflets des deux lentilles serait fort souhaitable, car on constate un reflet gênant qui se superpose à l'image et qui nuit à la définition et au contraste.

- en second lieu, afin que tous les amateurs puissent utiliser la platine, il faut prévoir une bague de fixation universelle ( $\varnothing 42$ ) permettant d'utiliser des boîtiers de marques différentes (pour l'instant, la platine ne peut recevoir que des boîtiers Canon. Il suffira que chaque utilisateur se munisse, en montant au Pic, de la bague d'adaptation adéquate.. (2)

Christian Mossler, au nom de toute l'équipe qui a participé à la mission ( Michel Laisne, Daniel Bailliet, Jean-Claude Kazmierowski)



(3)

(1) - Ce voeu est exaucé depuis novembre 1988 : le T 60 a été remis à neuf et dispose maintenant d'un miroir primaire resurfacé à  $\lambda/25$  !

(2) - Une autre solution consisterait à se procurer d'occasion un vieux boîtier Canon FTb qui resterait à la disposition des amateurs en mission au T 60. Si un de nos lecteurs peut nous dépanner, il sera le bienvenu...

(3) - M.13 - Pose 30 minutes - Fujichrome 1600.

---

#### PUBLICITE POUR LE CLEA ET POUR LES CAHIERS CLAIRAUT

Si vous voulez nous aider à assurer la publicité auprès de vos collègues, n'hésitez pas à nous demander des affiches ou des fascicules thématiques. Ils vous seront adressés sur simple demande.

## Les publications du CLEA

---

### LES CAHIERS CLAIRAUT, bulletin trimestriel du CLEA

Abonnement simple 1989 (n°45 à 48) : 80 F (soutien 100 F)

Cotisation simple au CLEA : 25 F

Abonnement 1989 (n°45 à 48) ET cotisation au CLEA : 100 F (soutien 130F)

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

Prix des Cahiers Clairaut au numéro, l'exemplaire 25 F

La collection complète des Cahiers Clairaut (n°1 à 44) : 480 F

A l'intention des nouveaux abonnés, onze fascicules ont été édités ; ils réunissent par thèmes des articles publiés dans les Cahiers Clairaut. Le fascicule FI est un index des articles publiés. TOUT NOUVEL ABONNE reçoit cet index et un fascicule à choisir dans la liste suivante:

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

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

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

LE TRAN-SOLUTE un "kit" qui permet de construire un TRANSPARENT animé montrant le SOLEIL, la LUNE et la TERRE ainsi que leurs mouvements relatifs. Réalisation J.Ripert et G.Fugilando. Utilisation sur rétroprojecteur. (50F)

LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE : Digne 1978 (25F), Grasse 1979 (35F), Sphia-Antipolis 1982 (50F), Grasse 1983 (58F), Formiguères 1984 (65 F), Formiguères 1985 (100F), Formiguères 1986 (100F)

### PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

Catalogue des étoiles les plus brillantes par F.Ochsenbein, A.Acker, E.Legrand J-M.Poncelet et E.Thuet-Fleck (franco 75F) - Le catalogue existe sur disquettes pour PC (120 F les deux disquettes).

Deux séries de dix cartes postales : 1) le système solaire ; 2) nébuleuses et galaxies (chaque série, franco 23 F)



Les commandes ainsi que les abonnements, cotisations ou réabonnements sont à adresser au secrétaire du CLEA

Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 SAINT CLOUD  
tél (1) 47 71 69 09

en joignant le chèque correspondant libellé à l'ordre du CLEA

---

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim

Imprimerie HAUGUEL, 92240 Malakoff

Dépot légal : 1er trimestre 1979 ; numéro d'inscription à la CPPAP : 61660

