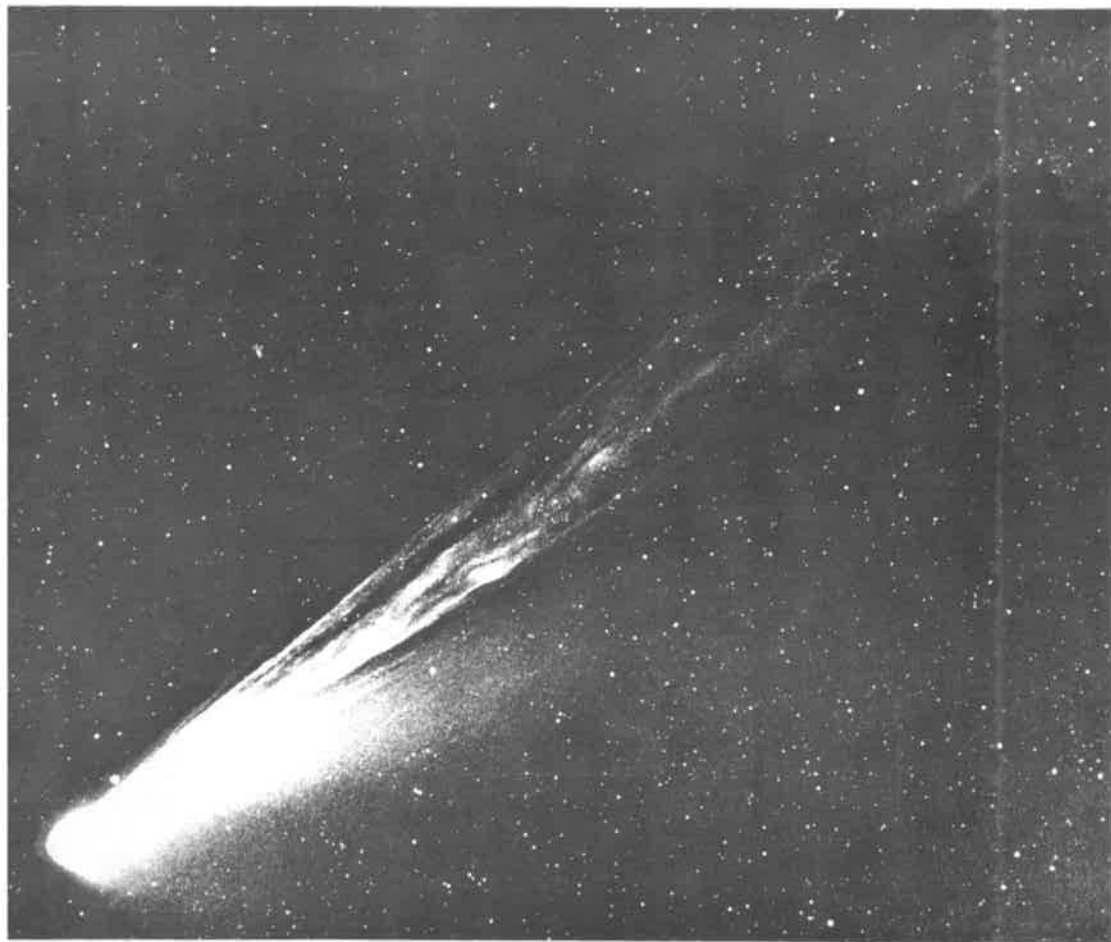


SOCIETE

ASTRONOMIQUE

DE LYON



REVUE TRIMESTRIELLE

Nouvelle série — N° 12 — 1978

Notre couverture :

Comète MRKOS - Photographie au télescope de Schmidt de l'Observatoire de Haute-Provence.

On remarquera la queue incurvée due aux poussières et une queue multiple rectiligne due aux gaz (on notera la structure en volutes de cette dernière).

La partie surexposée correspond à la tête qui contient un noyau dont le diamètre est très petit (quelques km). De ce noyau, s'échappent des gaz et des poussières qui forment une chevelure et une queue. La queue de gaz, avec ses volutes, est opposée à la direction du Soleil, elle est soufflée par le vent solaire. La queue de poussière est incurvée.

*Photographie publiée avec l'aimable autorisation de
M. Charles Fehrenbach, Directeur de l'Observatoire de Haute-Provence.*

Rapport moral du Secrétaire

L'année 1976-1977 s'est assez bien passée pour notre Société qui a pu non seulement maintenir, mais encore améliorer ses activités.

Dix conférences ont pu être présentées et malgré quelques perturbations dans leur nature et leur ordonnancement, nous pensons qu'elles ont intéressé les membres qui ont pu y assister.

Une visite de l'Observatoire de Haute-Provence a réuni un nombre important de participants et nous avons dû, en dernière heure, louer un mini-car pour pouvoir emmener tout le monde. Après une visite passionnante qui nous a permis de voir le télescope de 193 cm, un 150 avec son équipement de spectrographie et divers autres matériels, un repas agréable nous a tous réunis dans un village proche. La journée s'est terminée par un arrêt conférence à Pierrelatte et le retour à Lyon de la petite troupe bien fatiguée.

Quant au camp d'été qui s'est tenu du 10 au 17 juillet à Meaux-la-Montagne, nous pensons qu'il a été intéressant et profitable pour tous les participants qui nous ont semblés assez satisfaits de ce rassemblement hors série.

Le Secrétaire
R. Prud'homme

Composition du Conseil proposé à l'Assemblée Générale du 19 novembre 1977

Mesdames : Becker, Lunel, Martel.

Messieurs : Bergeat, Beaudoin, Cicéron, Cros, Dumont, Hayli, Jacob, Marichy, Méjean, Monnet, Do Han, Proisy, Prud'homme, Rhula, Saute, Sogno, Sondaz, Terzan.

Le nouveau bureau est ainsi composé :

Président : Monsieur A. Terzan

Vices-Présidents : Madame Martel, Monsieur Sogno

Secrétaire : Monsieur Prud'homme

Secrétaire adjoint : Monsieur Sondaz

Trésorier : Monsieur Cicéron

Trésorier adjoint : Monsieur Beaudoin

Bibliothécaire : Monsieur Bourret

ASTÉROIDES

Étymologiquement, astéroïde vient de deux mots grecs signifiant étoile et ressemblance. On peut donc définir un astéroïde comme un corps céleste ayant l'aspect d'une étoile. Une observation instantanée à l'aide d'une lunette astronomique ou d'un télescope en donne la plupart du temps l'aspect d'un point lumineux comme une étoile. Si on a la patience de contempler longuement un même champ stellaire on s'apercevra que ce soi-disant point lumineux se déplace légèrement par rapport aux autres étoiles du champ. Si le lendemain, on observe à nouveau ce même champ stellaire on constatera cette fois-ci que l'emplacement de l'astre, repéré la veille, a varié parmi la configuration des étoiles. Cet astre, aux positions variables, s'appelle une petite planète.

Découvertes

Le 1er janvier 1801, Piazzi à l'Observatoire de Palerme, observait des étoiles faibles dans la constellation du Taureau et notait exactement leur position. L'une d'entre elles attira son attention, car il ne l'avait jamais vue. Le lendemain, il constata que «cette étoile» s'était déplacée de 4 minutes d'arc. Piazzi pensa qu'il s'agissait d'une comète. Mais Bode, directeur de l'Observatoire de Berlin, supposa tout de suite que c'était la planète cherchée entre Mars et Jupiter pour combler la lacune de la suite de Titius.

Écrivons les nombres suivants :

0 3 6 12 24 48 96 192

A chacun, ajoutons 4, puis multiplions-les par 0,10, nous obtenons :

0,4 0,7 1,0 1,6 2,8 5,2 10,0 19,6

soit une suite de valeurs correspondantes aux distances des planètes au Soleil, évaluées en prenant la distance Terre-Soleil pour unité (1).

Mercure Vénus Terre Mars ? Jupiter Saturne Uranus

Si Uranus, découverte par Herschel en 1781, se situait bien à la distance assignée par la suite de Titius, Bode constatait l'existence d'une place vacante à la distance 2,8 que devait occuper une planète. Il pensa tout de suite que la soi-disant comète de Piazzi était la planète qu'il cherchait. Pour le savoir, il fallait déterminer la trajectoire. Pour cela, on continua à observer assidûment l'astre de Piazzi jusqu'au 11 février 1801 où il disparut. On disposait de 41 jours d'observations et d'un arc de trajectoire de 9° seulement autour du Soleil. A l'aide de ces seules observations, Gauss imagina une méthode pour calculer les éléments de l'orbite. C'était bien une nouvelle planète, que Piazzi nomma Cérès, d'excentricité (2) 0,08 comparable à celle de Mars (0,09) et d'inclinaison, sur l'écliptique, de 11° assez proche de celle de Mercure (7°) ; quant à la distance au Soleil, 2,77 U.A., c'est presque la distance prévue par Titius.

En fait, il n'existe pas qu'une seule planète entre les distances 1,6 et 5 U.A., mais une multitude. Le 28 mars 1802, Olbers de Brême découvre une «étoile» de 7e grandeur dans la constellation de la Vierge, non portée sur la carte de Bode. En fait, il s'agit de la petite planète Pallas située à la distance 2,77 U.A., d'excentricité 0,23 et d'inclinaison sur l'écliptique de 35°.

(1) Distance Terre-Soleil = 1 U.A. soit une Unité Astronomique = 149,5 millions de km.

(2) Rapport des 2 axes de l'ellipse.

Puis les découvertes se multiplient, si bien qu'au lieu d'une planète cherchée, c'est une foule d'astéroïdes que l'on identifie peu à peu.

Voici les caractéristiques des principales petites planètes :

Nom	Découverte	Auteur	Distance en U. A.	Période en jours	Diamètre (1)	Diamètre (2)
Cérès	01.01.1801	Piazzi	2,77	1 680	770 km	1 022 km
Pallas	28.03.1802	Olbers	2,77	1 685	490 km	560 km
Junon	01.09.1804	Harding	2,67	1 593	190 km	226 km
Vesta	29.03.1807	Olbers	2,36	1 325	390 km	503 km

Nombre

13 petites planètes seulement ont des diamètres supérieurs à 200 kilomètres. On compte 200 astéroïdes dont les diamètres restent compris entre 50 et 100 kilomètres et plus de 670 dont les diamètres varient entre 20 et 50 kilomètres. Baade estimait, en 1960, à 44 000 le nombre d'astéroïdes. Les derniers recensements et extrapolation par Gehrels, puis par Combes (1976) porteraient à 21 millions le nombre des petites planètes. On en découvre toujours et on en retrouve, comme en témoigne l'astéroïde Apollo photographié en juillet 1973 par Mrs Helin au Mont Palomar.

Trajectoires

Les plus gros astéroïdes ont des trajectoires circulaires ; par contre, certains présentent des trajectoires franchement elliptiques avec un périhélie quelquefois inférieur à la distance de la Terre au Soleil.

Il en est ainsi d'une dizaine de petites planètes telles que : Adonis, Amon, Apollon, Eros, Hermès, Géographos et Icare. Cette dernière passe à l'intérieur de l'orbite de Mercure (0,4 U.A.) puisque son périhélie est à 0,19 U.A. Mentionnons également que la planète Eros a servi à déterminer exactement la parallaxe solaire, quantité qui permet d'obtenir la valeur précise de l'unité astronomique. Par contre, pour Hidalgo, le périhélie se situe à la distance de l'orbite de Cères et l'aphélie près de l'orbite de Saturne.

Quelques astéroïdes ont des trajectoires qui diffèrent très peu de celles des comètes.

Masse et Formes

Les meilleures estimations pour l'ensemble des petites planètes donnent une masse égale à 1/847^e de celle de la Terre, bien inférieure à la masse de la Lune (1/81^e).

Si les plus gros astéroïdes ont une forme sphérique, les plus petits présentent toutes sortes de formes, jusqu'à celles de cailloux allongés, brisés et écaillés. Ces planètes aux formes distordues ont des variations d'éclat périodiques ; par exemple, Eros dont la courbe de lumière présente une périodicité de 2 heures 38 mn. Pour Eros, ces variations lumineuses s'expliquent parfaitement dans l'hypothèse d'une forme allongée (type cylindrique) tournant sur elle-même en 2 heures 38 mn.

(1) Diamètre déterminé à partir de mesures terrestres.

(2) Diamètre déterminé à partir de mesures effectuées par les sondes Pioneers 10 et 11.

Durées de révolution

Suivant les distances au Soleil, les répartitions les plus denses forment deux ceintures d'astéroïdes, situées à 2.17 et 3.45 U.A. Les durées de révolution correspondent à 3 ans 2 mois et 6 ans et demi.

On a constaté aussi qu'il n'existe pas de petites planètes aux distances 2.5, 2.82, 2.96 et 3.28 U.A., appelées en raison de cette absence, lacunes de Kirwood. Remarquons que ces distances correspondent aux nombres fractionnaires $1/3$, $2/5$, $3/7$ et $1/2$ des durées de révolution par rapport à celles de Jupiter. Les importantes perturbations subies par un corps dont la période est en résonance avec la période de Jupiter, sont probablement à l'origine de ces lacunes. Au Colloque de Lyon, Scholl et Froeschlé ont montré que les astéroïdes circulant au voisinage des lacunes de Kirwood se transforment en météorites.

Constitution

Les mesures récentes en radiométrie, en infrarouge et en polarimétrie, associées à la détermination du pouvoir réflecteur (albédo), présentées au colloque, conduisant toutes à une constitution analogue aux météorites.

- chondrites carbonées ou basaltes riches en fer
- silicates et météorites pierreuses
- métaux.

COMETES

Le mot «comète» vient d'un adjectif grec qui signifie «chevelu» ; il doit être accompagné du substantif «astre». Les comètes sont donc assez bien définies par le terme d'astres chevelus.

De tous temps, l'apparition d'une comète a frappé l'attention du genre humain et leurs passages sont signalés dans les plus anciens textes astronomiques tels que les chroniques chinoises et japonaises.

Je citerai seulement pour mémoire la célèbre comète de Halley dont la périodicité fut annoncée par Halley dès 1704. Parmi les passages mentionnés de cet astre nous relevons les dates de 1066, 1531, 1607, 1682, 1759, 1835, 1910. Nous attendons son retour vers 1986. Déjà un programme de recherches spatiales s'élabore pour cette date.

Parmi les objets récents que beaucoup d'entre vous ont pu contempler, je rappelle à votre souvenir les comètes Arend-Roland et Mrkos, toutes les deux bien visibles, le soir, en 1957. Plus récemment, la célèbre comète Ikeya-Seti en 1965 et enfin les comètes Bennett en 1970, Kohoutek en 1973 et West en 1975.

Une comète comprend 3 parties :

- le noyau
- la chevelure
- la queue.

Le noyau isolé, difficile à observer, car noyé dans la lumière de la chevelure, est constitué par une coque solide qui réfléchit la lumière solaire en donnant un spectre continu.

De ce noyau s'échappent, à l'approche du Soleil, des poussières et des gaz. Ces derniers sont formés d'atomes et de radicaux de molécules neutres dans *la chevelure* et de radicaux ionisés dans *la queue*.

L'étude spectrale révèle les émissions de :

pour la chevelure : H, C, C_2 , C_3 , CN, ^{12}C ^{13}C , HCN, CH_3 , NH, NH_2 , O, OH, H_2O
Na, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu

pour la queue : CH^+ , CO^+ , CO_2^+ , N_2^+ , OH^+ , H_2O^+ , Ca^+

ainsi que des silicates décelés dans les bandes à 10 et 18 micromètres observables en infrarouge du sol terrestre.

Les bandes de Swan de la molécule C_2 du carbone, les bandes violette et rouge du cyanogène CN apparaissent les plus intenses dans le spectre visible de la chevelure. C'est sur les spectres de l'ultra-violet lointain obtenus à partir d'observations sur satellite de la raie Lyman α que fut décelé l'hydrogène. La radio-astronomie par contre, a permis de détecter les émissions dues aux molécules d'eau et de OH.

Quant aux raies des atomes neutres, elles n'apparaissent que si la comète se rapproche très près du soleil, à moins de 0,5 U.A., pour le sodium (Na), le potassium (K) et le calcium (Ca) et à moins de 0,1 U.A. pour les métaux, chrome, manganèse, fer, cobalt, nickel et cuivre.

Mentionnons maintenant quelques travaux présentés au Colloque de Lyon.

Les perturbations apportées par les planètes Uranus et Neptune sur l'orbite des comètes lointaines montrent que l'évolution des orbites correspond à des temps comparables à ceux du système solaire. Par contre, l'étude statistique des comètes à courte période met en cause les seules perturbations joviennes.

Pour justifier son hypothèse du conglomerat de glace, Whipple a réclamé davantage encore d'observations au sol et il a évoqué la nécessité de missions spatiales réservées à l'étude des comètes.

Delsemme a calculé les rapports d'abondance de l'hydrogène, du carbone, de l'azote et de l'oxygène aux métaux dans les comètes Arend-Roland, Bennett, Kohoutek et West.

Notons aussi les nouvelles observations spatiales de 4 bandes de l'oxyde de carbone dans l'ultra-violet lointain à 1 480 Å°.

Enfin, de nombreux travaux théoriques permettent de penser que les comètes sont d'excellentes réserves du constituant primitif de la nébuleuse solaire. Ces constituants évoluent aux extrémités du système solaire, suivant la théorie de Oort entre 10 000 et 40 000 U.A., lieux géométriques et excellents réfrigérateurs de particules solides et de molécules à l'origine de toute vie ainsi que l'a exposé Armand Delsemme lui-même, aux journalistes lyonnais à l'issue du Colloque.

PANORAMA DE L'ASTRONOMIE ANTIQUE

On peut s'intéresser de deux points de vue à l'Astronomie dans l'Antiquité, en s'attachant par exemple au contenu scientifique des connaissances à cette époque lointaine, ou bien en cherchant à dégager les caractères de cette science et son esprit général.

Le contenu scientifique était pratiquement limité à l'étude du mouvement diurne et à l'étude des planètes et de leurs mouvements.

Au mouvement diurne, se trouvent attachées la notion de sphère céleste et celle de l'équateur céleste et de ses pôles nord et sud. Le mouvement diurne règle le temps et la détermination de l'heure ; la nuit, à l'aide des étoiles, fut l'une des plus grandes préoccupations des astronomes de l'antiquité. Des tables de levers (ou couchers) concomitants d'étoiles étaient de la plus grande utilité. Établies pour diverses latitudes, elles permettaient d'avoir presque toujours une étoile à sa disposition pour déterminer l'heure, même dans des conditions de visibilité défavorables dues à des reliefs importants ou à des causes météorologiques. Certes la tradition de partager la nuit, quelle que soit sa durée, en 6 heures égales ne simplifiait pas la tâche des astronomes, qui durent, très tôt, distinguer ce type d'heures, dites contemporaines, des heures équinoxiales (6 heures de jour égales à 6 heures de nuit).

Les planètes étaient comptées au nombre de sept ; la terre étant exclue, c'étaient le Soleil, la Lune, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.

Le mouvement du Soleil était la connaissance fondamentale. De haute antiquité sur les sphères armillaires, l'écliptique était représenté avec l'équateur. Mais les anciens avaient remarqué que le mouvement des autres planètes s'écartait peu de l'écliptique (de 5 degrés environ au plus), décrivant ainsi autour de ce grand cercle fondamental la bande du zodiaque qu'il fut facile de diviser en 12 parts égales, chacune d'elles étant occupées par une constellation célèbre.

C'est par le mouvement diurne du Soleil que l'heure était déterminée pendant le jour et l'on distinguait encore heures temporaires et heures équinoxiales. Mais la position du Soleil parmi les signes du zodiaque fixait le mois et donc la saison.

L'impossibilité de voir les étoiles en plein jour avait conduit à établir des tables de levers (ou couchers héliques) des étoiles. Un lever vrai d'étoile, concomitant à celui du Soleil, ne pouvant être observé, on se contentait d'une approximation de la notion de lever hélique : la dernière étoile visible au crépuscule du matin (Soleil à -15° au-dessous de l'horizon) ou la première étoile visible au crépuscule du soir, au voisinage du point où le Soleil allait se lever ou s'était couché.

Les phases de la Lune avaient conduit à la notion de mois, dont on avait approximativement retrouvé la valeur, en divisant par 12 la trajectoire annuelle du Soleil.

Le mouvement des autres planètes avec ses périodes rapides ou lentes, ses stations, ses rétrogradations sur le fond des étoiles, intrigua plus longtemps la sagacité des astronomes et il fallut attendre l'époque de Ptolémée pour réussir à concilier une explication du système du monde avec le concept du mouvement circulaire considéré comme parfait et divin.

L'étude littéraire de l'astronomie antique se heurte d'abord à la difficulté générale de compilation de textes. Beaucoup d'entre eux sont perdus ; certains sont reproduits ou cités plus ou moins fidèlement par d'autres auteurs. Certes, les grands philosophes, les grands mathématiciens, les grands astronomes ont laissé des œuvres abondantes, connues et analysées de nos jours avec le plus grand détail : Aristote, Platon, Pythagore, Archimède, Euclide, Hipparque, Ptolémée.

Mais un grand nombre d'auteurs moins célèbres laissent entrevoir, dans les bribes de leurs œuvres qui nous sont parvenues, une science astronomique, moins didactique, moins magistrale, mais une science vivante, populaire, de chaque jour, dont l'étude présente le plus grand intérêt. Ainsi, par exemple, à côté de la «Grande Astronomie» grecque (Almageste de Ptolémée) il faut faire une place importante à cette «petite astronomie» (Aristarque de Samos, Eudoxe, Antolycos de Pytane, Aratos, Euclide).

De ces études littéraires détaillées vont apparaître les caractères de la science antique qui présentent évidemment pour nous plus d'intérêt que son contenu. Ces caractères semblent être les suivants :

- une technologie très rudimentaire
- une symbiose science - philosophie - mythe - art
- un aspect très utilitaire de la science
- enfin le caractère de son enseignement, vulgarisé, ésotérique ou éclectique.

Ainsi, à côté du caractère ésotérique de certains textes scientifiques égyptiens, la vulgarisation de la science et particulièrement de l'astronomie est frappante dans l'antiquité grecque. Les sphères armillaires sont des moyens courants d'enseignement. Aristophane se moque, dans ses comédies populaires, des astronomes. Plus tard, dans l'antiquité latine, l'astronomie deviendra, par contre, l'apanage de quelques brillants esprits.

Le caractère utilitaire est aussi très évident : chacun utilisait les connaissances astronomiques pour connaître l'heure (la nuit surtout) ou la saison propice à tel ou tel travail agricole. Il est bien connu aussi que les Grecs furent avant tout des marins et le rôle utilitaire de l'astronomie dans l'art de la navigation est évident.

L'aspect rudimentaire de la technique est également évident. Celle-ci se réduisait à peu de choses : des instruments de visée simples (on pense au roseau coupé longitudinalement pour faire des pointés d'étoiles), des cadrans solaires, des horloges à eau, des sphères armillaires à usage didactique. Et l'on est parfois ému de l'ingéniosité déployée sur une technologie aussi rudimentaire. On pensera par exemple à la mesure de la circonférence terrestre par Erathostène ou celle rapportée par Cléomède et qui utilisait l'ombre portée de l'étoile Canope mesurée simultanément à Assouan et Alexandrie.

Mais l'aspect merveilleux de la science astronomique antique réside surtout dans ses rapports avec l'art et la philosophie. La science moderne s'appuie sur une technologie avancée, impitoyablement empirique. La science antique et surtout la science grecque, s'appuyait sur toutes les formes les plus nobles de la pensée humaine, comme la philosophie ou l'art.

Elle fut une préhension première de la réalité à la fois réfléchie et émotive qui fit passer sur l'essor de cette science ce souffle d'humanisme, qui fut la marque de toute la civilisation grecque.

Par ailleurs, l'astronomie se prête, plus que toute autre science peut-être, aux élans artistiques et poétiques. On ne se lasse pas d'admirer le fameux zodiaque de Denderah en Égypte, ou le globe astronomique que porte sur ses épaules l'Atlas Farnèse. Et que dire du poème d'Aratos qui reprend les «phénomènes» d'Euclide, dans le style éthéré d'un poème religieux, comme si quelque Victor Hugo contemporain s'inspirait d'une légende des siècles de l'astronomie.

Le mythe est également omniprésent. Il va du nombre magique 7 (il y a 7 planètes, il y a 7 lieux, le centre, l'avant, l'arrière, le dessus, le dessous, la droite, la gauche) à la croyance en la perfection divine du mouvement circulaire, évoqué par les étoiles, véritable dogme auquel il faut rattacher toute explication du système du monde.

L'aspect philosophique de la science astronomique est encore plus marqué : héliocentrisme ou géocentrisme sont des hypothèses philosophiques avant tout. Après l'essai, vite oublié, d'héliocentrisme chez Aristarque de Samos, c'est Platon dans son *Timée*, qui replace la terre au centre du monde et nul n'osera plus contredire le grand philosophe. Ce besoin d'un support philosophique s'explique finalement par le caractère physique et assez insaisissable de la science astronomique. De ce point de vue, il est frappant de comparer la rigueur et la profondeur des «éléments» d'Euclide, ouvrage mathématique par excellence, à la relative imprécision et à la platitude des «phénomènes», du même auteur, qui traitent de l'astronomie.

Alors le rôle des philosophes devint prépondérant. Ils transcendaient la science astronomique en une véritable cosmologie. Sur ce plan, Aristote apparaît comme le génial précurseur de la relativité. Définissant le lieu comme la première limite immobile de l'enveloppant, il pose la question de savoir si l'univers a un lieu et un mouvement. Une dialectique simple conduit à la conclusion que l'univers n'est pas en un lieu et n'est pas mobile localement par rapport à un lieu. Il peut seulement être mobile par translation. Il n'existe donc aucun repère fixe. Quelle meilleure introduction à une cosmologie relativiste ?

Plus imprégnée de considérations religieuses est la philosophie pythagoricienne, dont toute celle de Platon s'inspira et qui pose l'existence d'une coupure entre le monde sublunaire imparfait et matériel et le monde supralunaire des âmes et des astres, parfait, divin, intelligible.

La philosophie stoïcienne se retrouve dans le poème d'Aratos, déjà cité, qui voit dans les phénomènes la constatation des expériences sensibles, connaissance rationnelle et connaissance sensible se prolongeant l'une l'autre.

Il n'est pas jusqu'à la philosophie ionienne qui ne marquât la science astronomique de son souci d'explications physiques (le soleil plat, les étoiles vues comme des pierres incandescentes ou des feuilles portées par l'air) et qui, à l'opposé de la philosophie pythagoricienne, n'introduisait aucune coupure entre l'atmosphère porteuse des nuages et le monde des astres.

Ce recul pris par les philosophes pour mieux juger des résultats de la connaissance astronomique préparait d'abord, pour des siècles à venir, l'épanouissement de cette science avec les grands noms d'Hipparque et de Ptolémée.

Hipparque eut le goût et l'art de la précision. Les commentaires sur les «phénomènes» d'Eudoxe et le poème d'Aratos ne laissent passer aucune inexactitude.

Ce souci de la précision lui permit d'établir le premier catalogue de positions précises d'étoiles, à partir duquel il put découvrir le phénomène de la précession des équinoxes.

Quant à Ptolémée, sous l'influence de ces courants philosophiques divers, il réussit à dresser une synthèse de la science astronomique dans le cadre du mythe inébranlable du mouvement circulaire parfait, d'essence divine.

Mais cette vue philosophique de l'astronomie préparait aussi le caractère que cette science allait prendre sous la Rome antique.

L'astronomie latine est pauvre devant la science grecque. Tout ce que l'observation pouvait apporter à l'aide de la technique rudimentaire de l'époque, les astronomes grecs l'avaient découvert.

Les auteurs latins se contentèrent de compilations et de spéculations sans nombre sur les œuvres astronomiques grecques et cette science, dont l'enseignement sous la Grèce antique fut si largement et si populairement diffusé, devint à Rome, l'apanage de quelques esprits cultivés, brillants certes mais trop peu nombreux pour lui insuffler un nouvel essor.

On pense à Pline (qui semble ignorer Ptolémée), à Cicéron, à Lucrèce, à César, à Lucain, à Vitruve pour ne citer que les auteurs les plus célèbres ayant débattu d'astronomie.

On y découvrira parfois une dialectique vaine : Simplicius par exemple veut concilier les philosophes de Platon et d'Aristote, celui-ci estimant le monde non généré, celui-là le tenant au contraire pour généré.

Proclus et Damascius présentent des discussions plus profondes, sur les concepts d'Aristote notamment. Damascius propose que le lieu, le temps et la mesure sont des «utilités» dont les corps «ont besoin» et ainsi toute chose passe du chaos à sa propre distinction. On trouve déjà dans ces pensées l'écho des grandes questions modernes de mathématiques : le continu et le discontinu, la forme et leur mesure en termes d'espace et de temps.

Cicéron ne présente guère d'idées vraiment nouvelles concernant l'astronomie, peut-être seulement cette peur astrologique et superstitieuse de la «Grande Année», l'année où toutes les planètes se trouveraient en conjonction et qui marquerait, sans doute, la fin du monde.

Dans le «De rerum natura», Lucrèce présente une cosmologie intéressante mais qui reste spéculative : il existe des mondes en très grand nombre dans un univers infini et notre monde est voué à la vieillesse et à la mort.

La formation cosmique des éléments procéderait par effet de gravité : d'abord la terre, puis l'eau et enfin l'air se rassemblent autour du centre du monde.

Il reprend aussi la philosophie de l'atomisme : les atomes tombent parallèlement par nécessité, par loi physique. Mais certains s'écartent de cette trajectoire de non rencontre, par hasard, par liberté. Alors s'amorce une condensation matérielle. Faut-il voir là un précurseur des idées modernes sur «le hasard et la nécessité ? » La philosophie de Lucrèce est épicurienne. Pour son temps, c'est une philosophie matérialiste. La cause des choses est physique et non divine. Un phénomène a toujours la même cause, mais il existe une indétermination de la causalité. Épicuriens et stoïciens se rejoignent par leurs idées sur la connaissance sensible et rejettent la connaissance mathématique, apanage des pythagoriciens et platoniciens.

De ce panorama rapide de l'astronomie antique, il ressort qu'après les balbutiements qu'elle connut sous l'Égypte antique, l'astronomie prit un essor extraordinaire à l'époque grecque, pour retomber, après le déclin de l'époque romaine, dans l'oubli pour des siècles, jusqu'à ce que, grâce à l'invention de la lunette, des observations nouvelles fussent possibles. Mais l'épanouissement de la science astronomique grecque nous laisse encore aujourd'hui en grande admiration. Quel impact sur la pensée humaine ! Les philosophes grecs y voient un élément fondamental d'humanisme et de connaissance et cette liberté d'esprit à s'expliquer un monde encore mal connu, jointe au souci de faire connaître cette science par un enseignement aussi large que possible, fit de l'astronomie ce qu'elle n'aurait jamais dû cesser d'être, un fait essentiel de civilisation.

LES MOYENS D'OBSERVATION EN INFRAROUGE

Madeleine LUNEL

Durant les douze dernières années, l'astronomie infrarouge est sortie de son enfance. Cette rapide croissance a été rendue possible par les progrès de l'instrumentation, tels que le développement des détecteurs refroidis à l'hélium, les télescopes à faible «background» (rayonnement de fond) et les spectromètres multiplex, telles aussi que les plateformes de haute altitude ou spatiales, tels que les avions à réaction, les ballons et les fusées.

Les résultats obtenus l'ont été avec :

- des télescopes au sol de 0,1 à 5 mètres de diamètre
- des télescopes embarqués de 0,30 à 0,91 mètre
- des télescopes en ballon de 0,02 à 1 mètre
- des télescopes en fusées d'environ 0,15 mètre.

Il y a des avantages différents et des limitations pour les indifférents instruments actuellement utilisés. Ils se complètent si bien les uns les autres qu'aucun type ne peut prétendre remplacer les autres.

Par exemple, il y a des observations, en infrarouge lointain, continues à la fois avec des petits et des grands télescopes, en avion ou en ballon. Les télescopes embarqués en avion ressemblent maintenant aux télescopes au sol, présentant une précision de pointage de l'ordre de quelques secondes d'arc, une maniabilité et une reproductibilité parfaites. Les instruments en ballon donnent un background plus faible, une pression beaucoup plus faible des raies telluriques et des conditions d'observation plus longtemps stables. Cependant ces instruments ressemblent plus à des satellites qu'à des observatoires ordinaires. Les fusées, naturellement donnent un fond beaucoup plus faible mais le temps d'observation est court et elles sont très coûteuses. Il est bien évident que la meilleure solution serait un télescope placé sur orbite ce qui combinerait la longue durée d'observation avec le fond le plus bas possible. Même de cette façon, il doit être noté que la résolution angulaire est fréquemment plus importante que la sensibilité et les grands télescopes «au sol» travaillant dans les fenêtres atmosphériques donnent actuellement les meilleures résolutions. L'infrarouge, depuis les longueurs d'onde du visible ($0,8 \mu$) jusqu'aux micro-ondes de la radioélectricité (1 mm environ) est trop vaste pour que les techniques y soient partout les mêmes.

- Dans le très proche infrarouge, la photographie peut encore être utilisée, au besoin en hypersensibilisant les plaques.

- Les difficultés commencent vers 2 microns. Non seulement il faut faire évoluer le type de récepteurs, mais l'optique cesse d'être idéale. A 2 microns, le verre cesse d'être transparent. A 3 microns, le quartz devient opaque ; de 2,5 à 8 microns, la fluorine peut être utilisée ; de 7 à 14 microns, il faut des optiques en sel gemme et la sylvine permet d'atteindre une vingtaine de microns. Les optiques doivent plutôt utiliser des réflexions que des réfractions, notamment dans les spectrographes. Le relais des spectrographes conventionnels par des spectrographes à transformation de Fourier permet d'atteindre une très bonne résolution.

En même temps que croît la longueur d'onde, aux problèmes purement optiques se superposent les problèmes astronomiques : la résolution angulaire d'un miroir télescopique de dimension donnée est proportionnelle à la longueur d'onde. On conçoit qu'il faille utiliser de grands instruments si l'on veut des images fines. On conçoit aussi que dans le domaine de l'infrarouge lointain, celui que seuls peuvent atteindre les engins satellisés extérieurs à

l'atmosphère, ou les avions de haute altitude, l'impossibilité de très grands instruments, limite beaucoup les performances. En revanche, on gagne du côté de la stabilité des images et de la diffusion par le ciel.

LES DÉTECTEURS

Ils sont de deux sortes : détecteurs incohérents tels que les bolomètres et les photoconducteurs qui répondent seulement au nombre de quanta incidents : détecteurs cohérents qui peuvent mesurer à la fois la phase et l'amplitude du signal mais n'ont pas encore joué un rôle important en astronomie infrarouge.

Les détecteurs thermiques après absorption des radiations présentent un changement physique qui peut être mesuré. Ils sont également sensibles à toutes les longueurs d'onde. Non refroidis ils sont limités par les fluctuations thermiques ambiantes. Depuis 1960, on s'est aperçu qu'ils pouvaient être sérieusement améliorés par le refroidissement à basse température. Le bolomètre au germanium de Low (1961) a été le premier détecteur thermique approchant la limite théorique à la température de l'hélium liquide (NEP de l'ordre de 10^{-14} w).

Les photoconducteurs PbS ont joué un rôle important en astronomie infrarouge et sont encore beaucoup utilisés dans le proche infrarouge. Avec de petites aires ($0,25 \times 0,25$ mm) ils peuvent être obtenus commercialement avec des valeurs de NEP de 1.10^{-14} whz^{1/2} sous de bonnes conditions de background. Refroidis à l'azote liquide, leur réponse spectrale s'étend jusqu'à presque 4μ .

Les détecteurs photovoltaïques InSb peuvent aussi travailler à la température de l'azote et donner des valeurs de NEP du même ordre ou meilleures. La limite en longueur d'onde est un peu plus lointaine.

Le germanium et le silicium peuvent être dopés avec des impuretés variées et donnent une grande variété de photoconducteurs sensibles de quelques microns à plusieurs centaines.

APPAREILS ASSOCIÉS AUX DÉTECTEURS

Les filtres interférentiels étroits sont commercialisés aux États-Unis et en Europe. de 1 à 30μ , on arrive à obtenir des performances $\Delta\lambda/\lambda = 0,01$.

Un des grands avantages de ces filtres est qu'ils peuvent être refroidis de façon répétée à basse température sans dégradation. Il y a de petites variations dans leurs paramètres. Mais ces variations sont reproductibles. Quelques expériences ont montré cependant que quelques filtres ne « survivent » pas au refroidissement rapide aux températures de l'hélium liquide. Dans certains cas le problème est celui de l'adhésion du film sur le substrat. De toutes façons il paraît nécessaire quand on refroidit les filtres de vérifier fréquemment leurs performances.

La firme OCLI (Optical Coating Laboratory Incorporation) a développé un filtre très intéressant connu sous le nom de filtre circulaire variable. L'épaisseur du film varie avec la position le long de la circonférence du disque si bien que la bande passante change quand le disque tourne. La résolution de l'ordre de 0,01 permet dans la bande K par exemple, la mesure de 20 bandes étroites. Au-delà de 30μ les filtres interférentiels n'existent pas dans le commerce et sont difficiles à fabriquer.

FENETRES - SÉPARATRICES

Aucun matériau n'est utilisable pour une gamme étendue de longueurs d'onde à part peut-être la silice pure et le diamant, mais ils présentent un indice de réfraction élevé et de grosses pertes par réflexion.

L'infrarouge présente quand même quelques avantages : notamment il existe des matériaux qui, convenablement utilisés, permettent la séparation de l'infrarouge et du visible. Le premier est envoyé sur le détecteur et mesuré, le second dans un oculaire, ce qui permet un contrôle permanent du champ pendant la durée de la mesure.

TÉLESCOPES

Au-delà de 5μ des dispositions spéciales sont requises sur les télescopes utilisés pour les observations infrarouges. La température ambiante de 20°C correspond à environ 300°K , ce qui signifie rayonnement à 10μ ; or, précisément, la longueur d'onde 10μ est bien placée dans la fenêtre 8 à 13μ . Il est nécessaire, par exemple, d'éloigner les baffles qui limitent le champ pour les mesures dans le visible, car ceux-ci rayonnent. On a intérêt à utiliser un télescope peu ouvert. En général pour l'infrarouge, on préconise F/35 ou F/45. En effet un télescope plus ouvert oblige dans la combinaison Cassegrain à un trou plus grand dans le miroir primaire, ce qui donne un plus grand champ «visible» par le détecteur.

MODULATEUR

Observer à 10μ avec un télescope au sol revient à observer dans le visible avec un télescope éclairé par des tubes luminescents, entouré par des feux clignotants dans une coupole embrasée. Le fond est de l'ordre de 10^{-7} watts et on veut mesurer des flux de l'ordre de 10^{-14} watts. L'émission du ciel se manifeste à la fois par des fluctuations spatiales et temporelles et l'émission du télescope varie beaucoup à cause des flexions mécaniques et des changements de gradients au cours de la nuit. Par conséquent, les performances d'un tel système sont déterminées par sa capacité à rejeter les fluctuations de background.

Dans le schéma le plus simple, un détecteur infrarouge est directement couplé à un enregistreur par l'intermédiaire d'un amplificateur à grand gain. Le télescope est déplacé de la position étoile (plus ciel environnant) à la position ciel (avoisinant) et on mesure la différence entre les deux signaux. Il y a deux inconvénients à cette méthode :

1/ Tout le bruit de basse fréquence arrivera sur le détecteur.

2/ Les changements dans le niveau des signaux durant la période de mesure ne seront pas compensés.

Le deuxième problème peut être résolu facilement en ajoutant un deuxième détecteur adjacent au premier et recueillant les différences entre les 2 signaux. Ceci double la déflexion, augmente le bruit seulement dans le rapport $\sqrt{2}$ et supprime la dérive. Cependant le premier problème reste entier.

Cette élimination peut se faire par plusieurs méthodes :

1/ Télescope vibrant 5 à 10 fois par seconde... ce qui est impossible avec de grands télescopes.

2/ Miroir secondaire vibrant.

3/ Petit miroir vibrant près du plan focal pour simuler le mouvement du détecteur d'une position à l'autre.

Toutes les alternatives sont équivalentes grossièrement du fait que le faisceau du télescope provient rapidement de deux positions adjacentes du ciel ; en réalité, seules les deux dernières méthodes sont utilisables.

LIMITATIONS ATMOSPHÉRIQUES

1/ Les observations peuvent seulement être faites dans les régions spectrales où l'atmosphère est transparente, c'est-à-dire, en gros, vers $1,1 \mu$, $1,6 \mu$, $2,2 \mu$, $3,6 \mu$, 5μ , de 8 à 13μ , de 18 à 28μ , vers 100, 300, 550, 600, 700 et 900μ .

2/ L'émission atmosphérique limite les observations.

3/ Sur les grands télescopes et surtout pour les longueurs d'onde plus courtes, le «seeing» (augmentation de la dispersion angulaire de la lumière de la source due aux inhomogénéités optiques de l'atmosphère) détermine le champ de vue minimum qui peut être utilisé pour de la photométrie quantitative.

La concentration des constituants atmosphériques varie d'un site à l'autre et d'un moment à l'autre dans un site donné.

L'émission atmosphérique détermine le background minimum au-dessous duquel aucun détecteur ne peut opérer.

La température des régions émettrices est de l'ordre de 260°K . Par conséquent l'émission atmosphérique n'est pas un problème sérieux pour des observations à des $\lambda < 5 \mu$. Le niveau de l'émission dépend beaucoup des conditions atmosphériques. Les mesures absolues sont particulièrement difficiles en infrarouge par suite du background et du manque de performance des instruments. Toutes les mesures photométriques sont faites par rapport à un système d'étoiles standards.

Avant d'aborder les problèmes d'observation ailleurs «qu'au sol», rappelons que nous avons parlé ici essentiellement de photométrie, c'est-à-dire que le télescope sert de collecteur de lumière, lumière que des filtres permettent de «découper en tranches» de longueur d'onde, plus ou moins larges. Le filtre circulaire variable représente un intermédiaire entre la photométrie et la spectrophotométrie.

Il existe d'autres méthodes d'observation. Citons pour mémoire la spectroscopie interférentielle : le faisceau intéressant après avoir traversé le diaphragme est séparé par une lame optique dite séparatrice en deux faisceaux. Chacun d'eux, l'un après réflexion sur un miroir fixe, l'autre sur un miroir mobile, retransverse la séparatrice avant d'arriver sur le détecteur. On obtient une série de franges qui représente la transformée de Fourier du spectre du rayonnement. On s'oriente actuellement vers des méthodes qui permettront de reconstituer l'image de l'objet infrarouge au lieu de se contenter de mesurer son flux. Les méthodes multiplex d'imagerie infrarouge permettent de reconstituer des images à l'aide de grilles. Une autre méthode consiste à utiliser des «barrettes» ou des «mosaïques» de détecteurs. Chaque détecteur donne un signal qui est amplifié et ceci permet de reconstituer sur un écran l'aire du ciel observée. Il existe actuellement deux sortes de détecteurs utilisés dans les mosaïques :

- domaine 2 à 5μ : détecteurs InSb
- domaine 10 à 20μ : détecteurs Si As.

OBSERVATIONS SPATIALES

BALLONS

L'astronomie infrarouge, à partir de plateformes de ballons, débuta vers 1960 avec deux expériences dans le proche infrarouge. Les observations plus lointaines ont été celles du Centre galactique vers 100μ . En 1976, un infrarouge disait au cours d'un colloque qu'il y avait actuellement 30 groupes dans le monde poursuivant des activités spatiales.

Aux plus basses altitudes (28 km), la transmission de l'atmosphère n'est déjà plus comparable à ce qu'elle est au Mauna Kea par exemple (emplacement du futur télescope de 3,60 mètres franco-canado-hawaïen) situé à 4200 m. A cette altitude notamment, il n'y a aucune transmission entre 50 et 100 microns. A 28 km d'altitude, elle est déjà excellente et à 41 km parfaite. De même l'émissivité du ciel diminue considérablement et notamment dans la bande des 20 microns. Le Goddard Institute possède actuellement un télescope de 30 centimètres spécialement destiné aux observations en ballon et l'Université d'Arizona un télescope de 40 cm en projet. Les optiques sont refroidies aux environs de 10°K et le détecteur à $1,8^{\circ}\text{K}$. La vitesse du vent est souvent élevée au-dessus de 30 km d'altitude : une vitesse typique de 48 km/h permet des périodes d'observation de 10 à 12 heures dans une trajectoire de 560 km.

AVIONS

En 1976, il y eut 550 heures d'observations à des altitudes de 13-14 km, entre 1 et 1 000 microns. Un télescope stabilisé de 91 cm de diamètre est monté dans un avion C 141. Sa stabilité est meilleure que $2''$ et sa précision de pointage supérieure à $5''$. Les fenêtres atmosphériques sont seules utilisables mais l'émission du ciel et le background du télescope sont beaucoup plus faibles. En France des mesures ont été faites en «Caravelle». Le télescope est monté à l'intérieur d'une cavité ouverte à l'air extérieur et formant récession dans le fuselage. Aucun matériau n'aurait en effet fourni une fenêtre ayant la rigidité suffisante pour tenir la différence de pression et donner la transparence nécessaire aux observations infrarouges. Le télescope peut rester pointé plus d'une heure sur la même source à mieux que $15''$; l'expérimentateur dispose de deux foyers Coudé et Cassegrain. Chacun accepte un récepteur infrarouge associé à différents dispositifs d'analyse du rayonnement. Il a accès à ces instruments pendant toute la durée du vol et peut intervenir à tout moment sur l'expérience. Il dispose de contrôles de fonctionnement ainsi que d'un petit ordinateur qui gère les instruments de mesure, enregistre les paramètres, visualise sur un écran les données au fur et à mesure de leur acquisition.

Lors d'un vol de plusieurs heures, mené à l'altitude maximale que peut atteindre l'appareil, chaque source est observée successivement, lorsque les mouvements combinés de l'avion et de la terre l'amènent dans le domaine de pointage du télescope. La durée d'observation peut atteindre plusieurs dizaines de minutes, permettant de cartographier la source ou d'améliorer la mesure en intégrant le signal, si ce dernier est faible. Les vols sont répétés plusieurs nuits de suite et sont totalement indépendants des conditions météorologiques dans la troposphère : il y a là un avantage opérationnel considérable de l'avion sur le ballon, pour lequel les conditions de lancement sont souvent critiques. Le C 141 est en exploitation de routine, volant plus de 200 heures par an. Les Américains ont en projet un télescope de 3 mètres de diamètre qui sera installé sur un Boeing 747.

SATELLITES

Il existe actuellement un projet anglo-américano-néerlandais de satellite équipé d'un télescope de 60 cm de diamètre ayant pour but un «survey» de 8 à 120 microns.

L'altitude sera de 900 kilomètres, les détecteurs une barrette Si As jusqu'à 30 microns et un bolomètre ensuite. Ce satellite portera le nom d'IRAS (Infrared Astronomical Satellite).

Le LST (Large Space Telescope) sera à l'IRAS ce que le télescope de 5 mètres du Mont Palomar est au Schmidt de 120 cm. Il servira à étudier en détail les sources détectées par l'IRAS. On parle aussi d'un «Large Infrared Space Telescope». Mais le sujet n'était pas ici de faire une liste des futurs satellites mais seulement de montrer l'intérêt qu'il y a pour faire de bonnes observations infrarouges à sortir de l'atmosphère terrestre.

Imprimerie du Centre Régional de Documentation Pédagogique de l'Académie de Lyon
47, rue Philippe de Lassalle — 69316 LYON Cedex 1

Dépôt légal : 3e trimestre 1978 — N° de la publication : 12729/400 — Le Directeur : R. PRUD'HOMME

Société Astronomique de Lyon
69230 – Saint-Genis-Laval

Sommaire

- 1 – Rapport moral du Secrétaire
- 2 – Suite de l'article du bulletin n° 11
- 6 – Panorama de l'astronomie antique
- 11 – Les moyens d'observation en infrarouge

Prix : 5 F