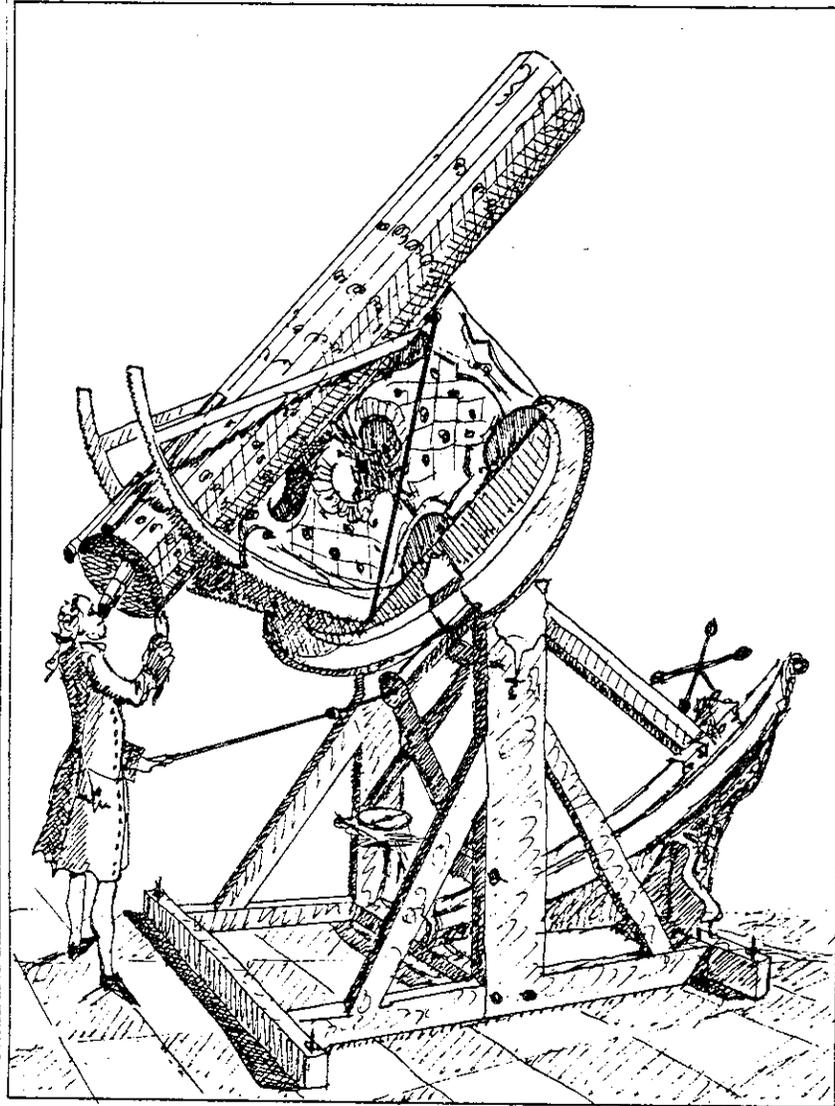


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°35 - hiver 1986

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 35 - Hiver 1986

SOMMAIRE

La planète Mars vue avec une petite lunette	3
P.V.L. : un Univers en bulles et filaments	10
Johannes Hevelius	11
Lectures pour la Marquise	20
Les phases de la Lune à l'école primaire	23
Le système des raies d'absorption des quasars	25
Après trois cents ans... (2)	30
Fluctuations du lever et du coucher de la Lune	35
Mettez votre planétaire à jour	38
Rencontres célestes	39
Courrier des lecteurs	43
Chronique du CLEA	44

EDITORIAL

Si les Cahiers Clairaut n'existaient pas, croyez-vous que vous pourriez lire, sous la plume d'un spécialiste de cosmologie le récit de ses observations de Mars avec une petite lunette ? Qu'une astronome de Toruń (oui, nous disons bien, la ville natale de Copernic) aurait écrit pour nous un article sur un grand savant de son pays (pas Copernic, un autre moins connu mais qu'il faut justement mieux connaître)? Enfin, qu'à côté d'une étude sur les raies d'absorption dans les quasars (étude à suivre), vous pourriez lire un récit des découvertes des phases de la Lune par des mioches de huit ans ?

Mais le fait est là, les Cahiers Clairaut existent, ses amis lui confient leurs expériences, y expriment leurs idées sur l'enseignement de l'astronomie qu'ils veulent promouvoir. Pas seulement pour le plaisir - qu'ils auraient bien tort de cacher - d'élargir le champ de leurs propres connaissances. Mais aussi parce qu'ils sont persuadés qu'une culture astronomique est indispensable au développement harmonieux des esprits de nos petits et grands élèves. Surtout à une époque trop favorable, médias aidant, à la diffusion des "fantaisies" les plus irrationnelles. S'il paraît difficile d'empêcher les télévisions de faire de la publicité pour l'astrologie (encore qu'une sage république pourrait se préoccuper aussi de la santé des têtes), soyons d'autant plus fermes et actifs pour montrer le bon chemin de la recherche rationnelle. Chemin pas toujours aisé mais qui offre des perspectives autrement riches que les élucubrations de devins dans l'eau trouble du zodiaque....

la rédaction

LA PLANÈTE MARS VUE AVEC UNE PETITE LUNETTE

Jean Heidmann, Observatoire de Paris

Avec son globe de 7 000 km, son jour de presque 24 h, ses calottes polaires, ses saisons, Mars est une planète fascinante depuis que les lunettes, il y a un siècle ou deux, nous ont révélé un astre aussi proche parent de notre Terre, qui de plus est aussi proche, dans l'espace, de notre home à nous. Qui n'a rêvé devant les images télescopiques où fondent les glaces l'été pour se reformer l'hiver, où des tempêtes de sable gigantesques balayent la surface de la planète à des cent kilomètre-heure pendant des jours?

En bien ces visions sont accessibles même avec de petits instruments; à condition de prendre certaines précautions. La première est d'observer Mars au bon moment. Tous les deux ans la planète est en opposition, donc au plus proche de nous et opposée au Soleil, c'est-à-dire éclairée de face et passant au méridien en pleine nuit. Mais à cause de la forte excentricité de l'orbite de Mars ces oppositions sont minimales tous les 15 ans; 1986 et 1988 sont particulièrement favorables. Cet été le diamètre du globe atteignait 23". Donc un grossissement de 80 fois le fait voir comme la Lune à l'oeil nu. Ce n'est pas mal.

Deuxièmement, être bien installé. Ne pas se tordre le cou, ne pas se trouver dans une position déséquilibrée car l'énergie dépensée pour se forcer derrière l'oculaire empêche de bien voir. Il faut être "confortable et relax". Et pour les mêmes raisons, l'instrument doit suivre tout seul le mouvement diurne et être stable.

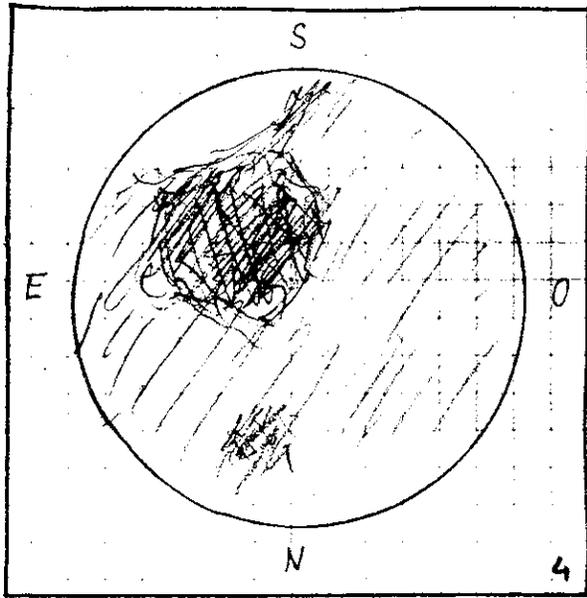
Troisièmement le "seeing", c'est-à-dire la qualité de l'image au point de vue atmosphère, doit être le meilleur possible. Ici il y a un vrai problème pour Mars en France car les oppositions les plus proches ont lieu quand la planète est à basse déclinaison. Donc observer au voisinage du méridien, être dans un endroit dégagé, fuir les toitures échauffées le jour, les cheminées qui créent des turbulences. L'instrument doit être en plein air, débarassé de son abri, qu'il faut évacuer vers le nord. Eviter un observatoire construit au dessus d'une maison ou d'une salle-labo. L'idéal est d'être sur la pente douce et herbue d'un vallon en travers du sud, avec des bois jusqu'à l'horizon. Ainsi, dès sa sortie de l'objectif, la ligne de visée est à plusieurs mètres de hauteur et dégagée des turbulences dues au contact du sol.

Quatrièmement avoir une mise au point sans à-coup; la régler sans d'éventuelles lunettes car le faisceau sortant de l'oculaire est très fin (1 ou 2 mm) et rend l'oeil suffisamment parfait. Comme on utilise en général un grossissement un peu au dessus du grossissement théorique (une fois le diamètre de l'objectif en mm), vérifier la mise au point avec une étoile brillante; on doit juste apercevoir la tache de diffraction et son premier anneau.

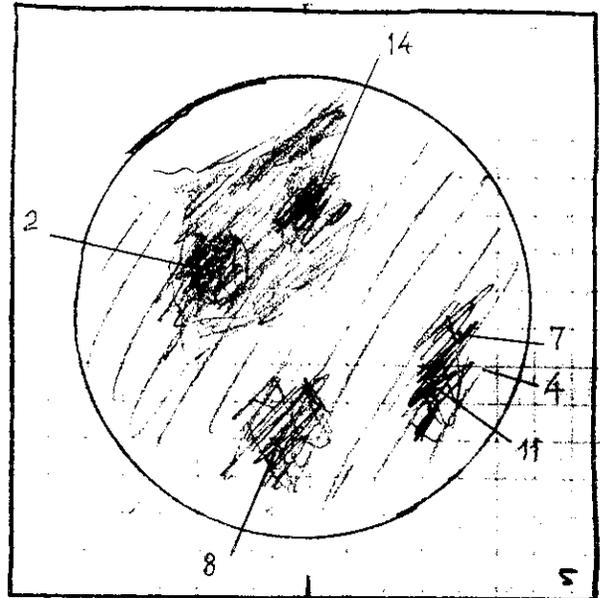
Ensuite, savoir regarder. La vision de Mars dans un petit instrument est de prime abord très décevante; dans le champ l'image est quand même minuscule, peu contrastée, plus ou moins agitée et absorbée par l'atmosphère. Les continents et les "mers" sont en général pâlots; seules les calottes polaires ressortent convenablement. La première réaction est de dire "on ne voit rien; où sont les magnifiques dessins vus ailleurs!". Mais il faut s'accrocher, persister. D'abord l'oeil s'habitue à ces tristes conditions. Puis l'atmosphère varie sans cesse et il arrive des moments éphémères où par hasard l'image est calme; alors on saisit tout à coup un détail, un contraste, une nuance. C'est d'ailleurs ici qu'un instrument modeste reprend de l'avantage sur un plus gros car les cellules turbulentes ont des tailles de l'ordre du décimètre: en première approximation un objectif de 10 cm donnera pas trop rarement une bonne image tandis qu'un objectif de 50 cm donnera presque toujours une image moyennement perturbée.

Il faut alors fixer sur un dessin les détails observés; une demie heure suffira pour une vue complète du disque de la planète. Là aussi être

LE SEEING

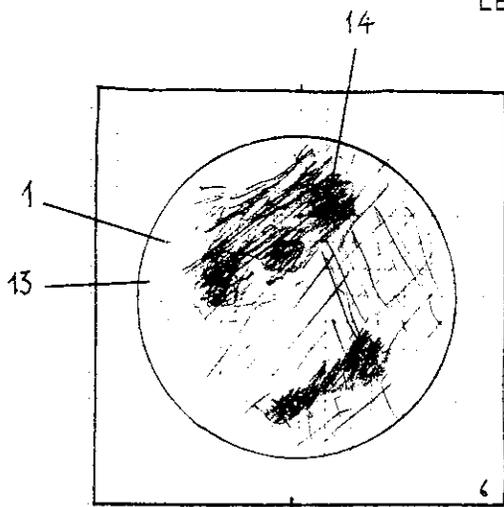


16-7

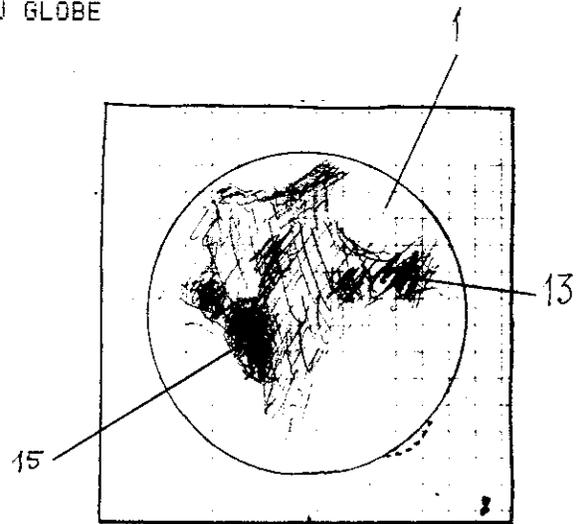


17-7

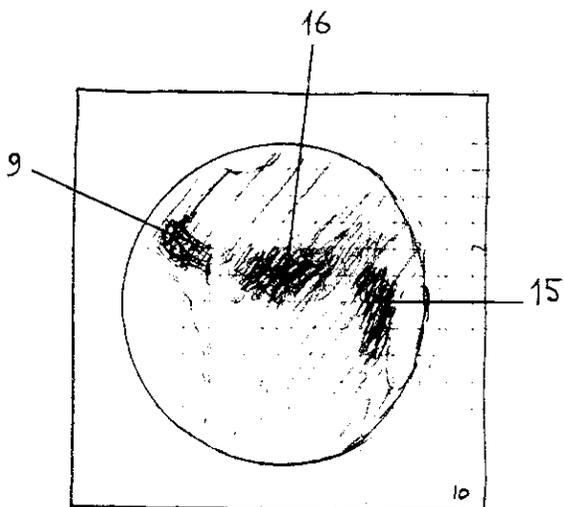
LE TOUR DU GLOBE



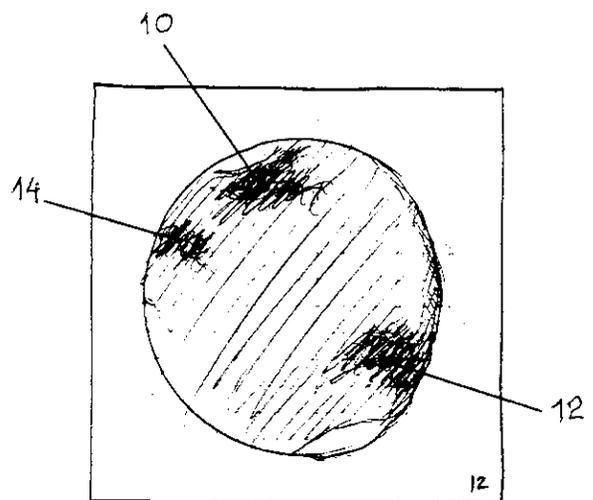
19-7



29-7



2-8



12-8

bien installé, avec un éclairage orange très doux. Faire un dessin au trait, d'une demi douzaine de cm, ombré par hachures, sans trop se soucier de la douceur du modelé ni de la finesse puisqu'à cette échelle 1" de bonne résolution fait déjà 2 mm. Par contre ne pas hésiter à forcer un peu le contraste, du moment que la suite des gradations est respectée. Un tel dessin sera ainsi facile à reproduire par photocopie. Porter en marge des indications de netteté, d'éclat, de contraste, ainsi que la qualité de l'image et du ciel, la date, l'heure et le grossissement.

Par la suite, chez soi, essayer d'identifier les régions dessinées. Pour cela trouver dans des éphémérides la longitude du méridien central lors de l'observation et s'aider d'une carte, ou encore mieux d'un globe pour restituer les perspectives; à la rigueur une carte de Mercator, découpée et roulée en cylindre, reproduit bien l'effet de rondeur dans les régions équatoriales et tempérées. Et ainsi, au cours des semaines de l'opposition, on peut réunir une ou deux dizaines de dessins.

C'est alors, grande récompense, que se dévoile à vous la vie de Mars, car vous allez pouvoir faire des rapprochements, des comparaisons. Pour vous inviter au voyage je vais vous livrer les miens.

J'ai observé avec une lunette Manent de 95 mm dotée des grossissements 60, 150 et 250, sur monture équatoriale stable, dans un abri de 2mx2m dont le toit, en contreplaqué léger recouvert d'une feuille d'aluminium bitumée, s'ouvre en deux parties. Au coucher du soleil je l'ouvre pour que dans la nuit l'équilibre thermique soit réalisé; c'est fondamental. En plus je suis situé sur la pente herbue rêvée et j'ai très souvent le seeing théorique de 1".

Je connais à peine la topographie de Mars, ce qui est d'ailleurs un avantage car pour être plus objectif jamais je ne repère à l'avance ce que je devrais voir la nuit. A l'opposition de 1984 j'ai ainsi fait mes dessins cinq nuits de suite, un peu bluffé de ne pas reconnaître le moindre indice de mes faibles connaissances, et dégouté en plus. Ce n'est que plusieurs mois après que, revenant sur ces dessins, muni de cartes et d'éphémérides, j'ai reconstitué, à ma grande surprise, les déplacements d'une tempête de sable de 3 000 km de large au travers de la planète, calculé sa vitesse (70 km/h), cru y voir des alizées, un anticyclone... Bien sûr je me suis gardé de publier cela dans une revue sérieuse car il m'aurait fallu travailler plus la question et que je ne suis pas spécialiste de Mars. Mais je me suis bien amusé et j'ai été émerveillé.

Pour l'opposition de cette année 86 j'ai récolté une vingtaine de dessins. Je vais en tirer quelques thèmes; pour vous aider dans les descriptions vous pouvez consulter une carte de Mars dans un livre d'astronomie.

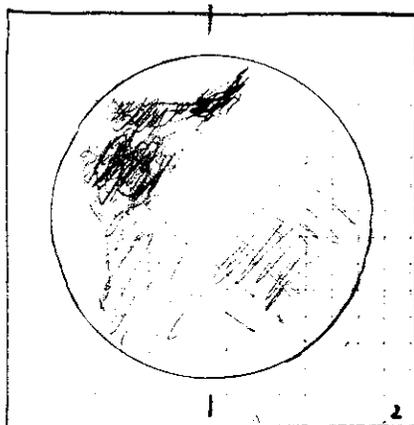
LE SEEING

Premier thème: l'influence majeure du seeing. Les 16 et 17 juillet Mars présentait presque la même face, les longitudes du méridien central étant 85 et 70°; le 17, avec un ciel qualifié de stable, légèrement voilé et une image fine, on voit (utiliser l'index) Aurorae Sinus, Solis Lacus, Mare Acidalium, Nilokeras et Lunae Palus (ou Ceraunius?) tandis que le 16, avec une image agitée, absorbée et floue on ne distingue que deux zones confuses; seul le liseré sombre en bordure de la calotte polaire sud (le sud est en haut) est visible les deux fois.

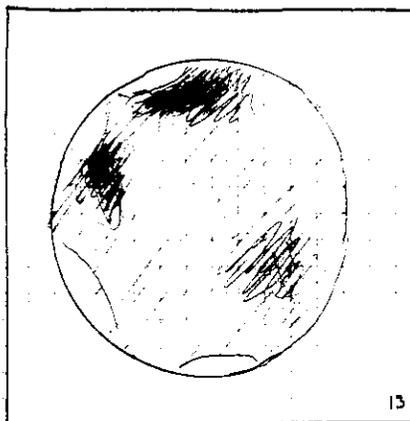
LE TOUR DU GLOBE

Quatre observations, réparties à peu près tous les quarts de tour, donnent une vue générale de la planète. Sur la première (19-7) Argyre Planitia, un grand bassin d'impact de 800 km de diamètre, situé sur le bord est (à gauche), se retrouve sur le bord ouest le 29-7, au dessus de Sinus Meridiani,

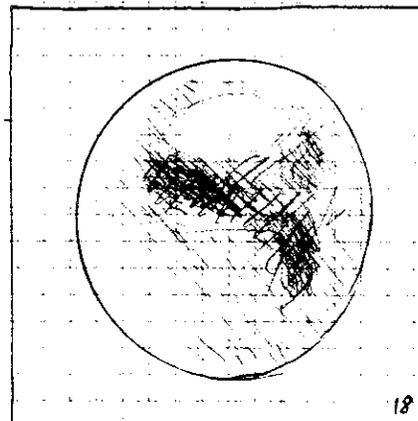
LA CALOTTE POLAIRE SUD



13-7

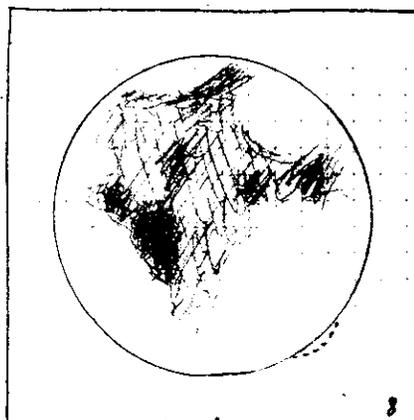


13-8

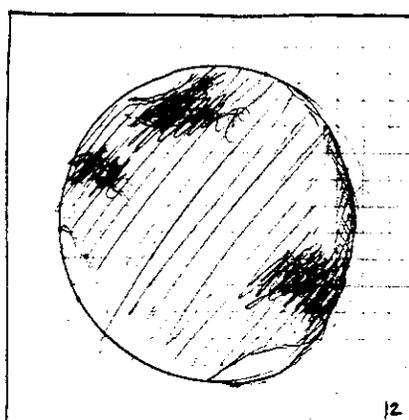


3-9

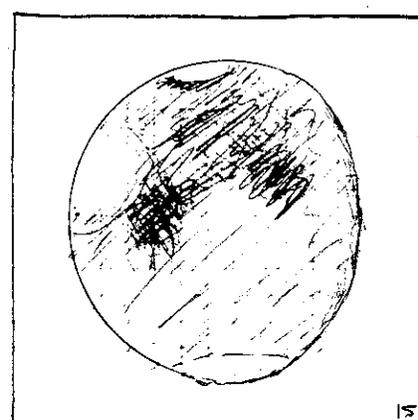
LE POLE NORD



29-7

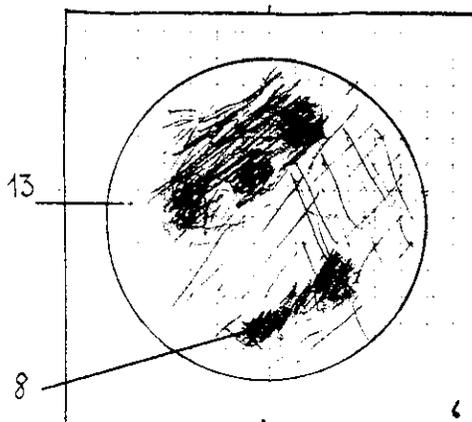


12-8

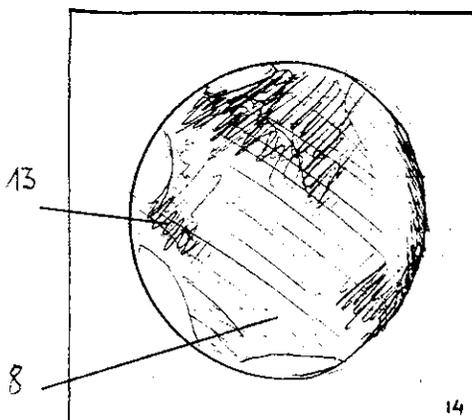
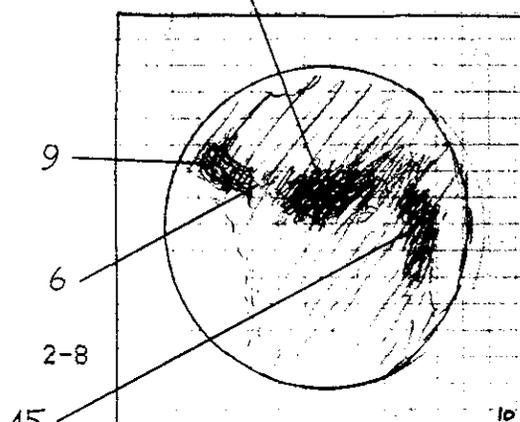


28-8

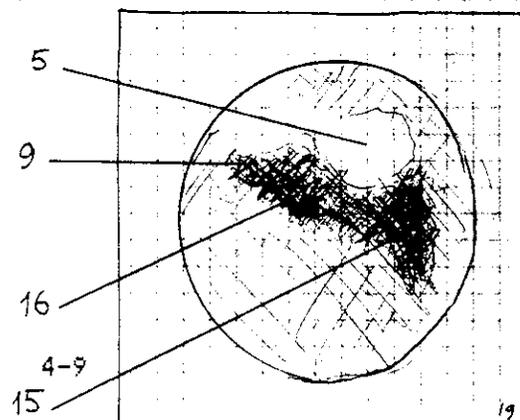
CHANGEMENTS



19-7



20-8



qui semblait voilé le 19. Solis Lacus, appelé "l'oeil de Mars", m'a montré le détail le plus fin de la saison, le 19, pendant quelques brèves secondes: une petite tache très foncée, sur la droite, grande comme la Belgique, qui correspondrait à la pupille de l'oeil.

La vue du 29 est dominée par Syrtis Major, très sombre cette fois-là; c'est la région la plus populaire de Mars, épousant les contours d'une vaste dénivellation de 4 000 m d'altitude s'étendant en un arc de 2 à 3 000 km de long.

Elle se retrouve côté ouest sur le troisième dessin, le 2-8. Mars y est traversé par une longue bande sombre formée de Syrtis Minor et de Mare Cimmerium, qui se continue jusqu'à Mare Sirenum (4ème dessin). Cette barre marque le haut d'un escarpement rectiligne de 5 000 km, parti de Syrtis Major, qui sépare de 4 000 m les hautes terres cratérisées du sud des basses terres du nord.

Enfin sur le 4ème dessin, du 12-8, on retrouve Solis Lacus à l'est. A noter Propontis qui, avec Mare Acidalium, constitue les zones marquantes des régions nord de Mars, formées en majeure partie de plaines lisses et jeunes. Remarquez sur les dernières vues le terminateur à l'ouest: Mars a dépassé d'un mois son opposition et n'est plus éclairé tout à fait de face.

LA CALOTTE POLAIRE SUD

A l'opposition, le 10 juillet, l'hémisphère sud de Mars en était aux deux tiers de son printemps de 146 jours; c'est dire que la calotte polaire de neige carbonique qui l'hiver descend jusqu'à 50° de latitude avait déjà régressé et devait le faire de plus en plus. C'est ce que montre la série d'observations; le 13-7 elle descend encore jusqu'à 60° de latitude et est en partie entourée par la frange sombre si souvent observée et encore mal expliquée. Un mois après, le 13-8, la calotte n'atteint plus que 75°, mais est très claire. Enfin, le 3-9 je ne l'ai pas vue; comme le pôle sud garde toujours une calotte résiduelle de 350 km, mais excentrée sur le méridien 30°, elle était peut-être trop au raz du bord avec le méridien central 280° du 3-9; deux jours avant, avec un méridien central à 315°, je la voyais encore, en fait bien décalée à droite par rapport au dessin du 13-8 vu de l'opposé avec un méridien central 115°.

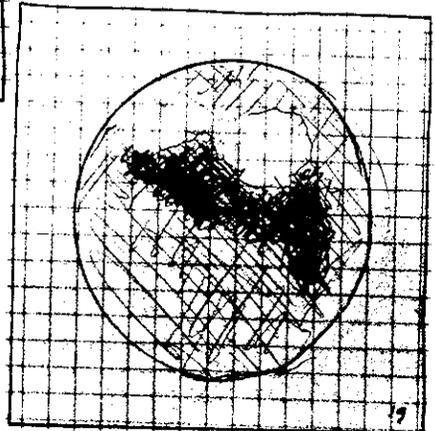
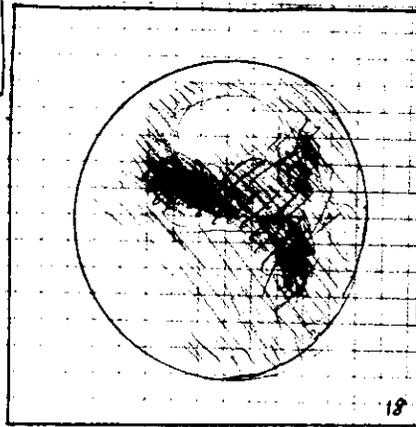
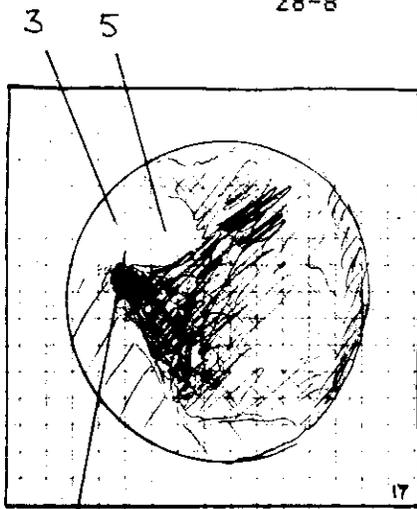
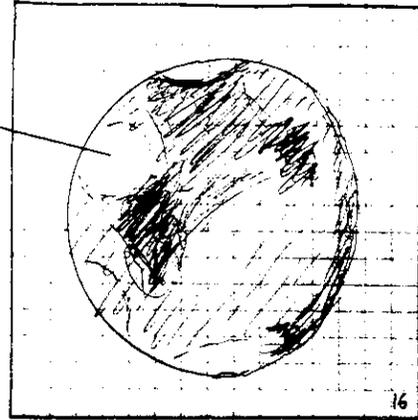
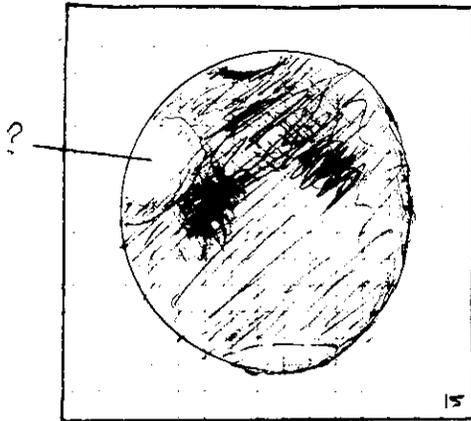
LE POLE NORD

Pour le nord au contraire l'automne était bien avancé; à cause de l'orientation du globe le pôle lui-même n'est pas visible et les observations de la calotte résiduelle de l'été et de son développement sont plus difficiles. Cependant le 29-7 j'avais un premier indice, une petite boursoufflure représentée par le pointillé en bas à droite: nuage en altitude? brume dans la région polaire?. Le 12-8 c'est nettement confirmé: un dôme de 40°, plus blanc que le pôle sud, un peu protubérant, coiffe le pôle nord. Même chose deux semaines plus tard, le 28-8, vu par l'autre côté, un peu plus large, diffus. Probablement il s'agit là du développement de la chape de brumes qui recouvre la région polaire nord en précurseur au dépôt de nouvelles couches de neige carbonique.

CHANGEMENTS

Un autre thème consiste à comparer l'aspect de mêmes régions à plusieurs semaines d'intervalle pour y détecter des changements éventuels. Ceux-ci, en plus des changements dans les régions polaires, peuvent être dus à des causes atmosphériques, comme des nuages, à des dépôts de givre ou de poussières claires sur des zones sombres ou à leur enlèvement par le vent.

UNE TEMPETE DE SABLE



4-9

Il faut bien sûr s'adresser à des situations comparables du point de vue seeing.

Entre les vues des 19-7 et 20-8 on constate la disparition de Sinus Meridiani sur la première et celle de Mare Acidalium sur la seconde. La situation au centre est confuse; on peut donc douter à juste titre des "changements". Dans un tel cas il faut comparer ses résultats avec ceux d'autres observateurs, ce qui peut conduire à des discussions passionnantes.

Pour les vues des 2-8 et 4-9 on remarque sur la première une coupure entre Syrtis Minor et Mare Cimmerium due à Hesperia, claire en général, et qui aurait été alors assombrie sur la deuxième; mais cela est peut-être osé. Par contre sur la seconde le plus grand bassin d'impact de Mars, Hellas Planitia, avec un diamètre de 1 600 km, est nettement visible au sud de Syrtis Major alors qu'il n'a pas été remarqué un mois avant.

UNE TEMPETE DE SABLE

Vers la fin de la saison j'ai été récompensé par le déroulement d'une tempête de sable, du moins il me semble. Cela a commencé le 28-8 en remarquant sur le bord est une zone ronde très brillante pour laquelle je notais: "Hellas? Début d'une tempête?" Le lendemain la zone est toujours très brillante mais je la localise mieux, plus à l'est, sur Trinacria. Le 1-9, en plus de Trinacria, la tache, très claire, envahit Hellas Planitia à l'ouest et Ausonia au sud. Le 3 elle se voit bien, au méridien central; le 4 elle semble s'étendre encore plus horizontalement, peut-être en se dédoublant.

Malheureusement je n'en ai pas su plus, ayant dû quitter mon observatoire; et à mon retour quelques jours plus tard le temps s'était dégradé, l'atmosphère (terrestre!), à l'approche de l'automne (terrestre!), étant devenue très turbulente; les images de Mars étaient littéralement brisées en une demie douzaine de morceaux, en constante agitation; le seeing devait bien atteindre 4 ou 5". Au fait n'est-il pas merveilleux d'avoir à spécifier qu'il s'agit de perturbations dans l'atmosphère de la Terre alors que nous parlons de perturbations dans celle de Mars?

Hellas Planitia est connu comme un site où les tempêtes de sable prennent facilement naissance à l'approche de l'été austral; la profondeur de ce grand bassin atteint 6 à 7 000 m; la pression atmosphérique y est donc plus forte et l'air, échauffé par le soleil, y est plus apte à engendrer des vents eux-mêmes plus aptes à entraîner des poussières; et plus l'air se charge de poussières, plus elles absorbent de chaleur et plus elles échauffent l'air. Ainsi se développent catastrophiquement les grandes tempêtes de sable sur Mars.

A vous pour septembre 1988?...

INDEX DES NOMS

1 Argyre Planitia	7 Lunae Palus	13 Sinus Meridiani
2 Aurorae Sinus	8 Mare Acidalium	14 Solis Lacus
3 Ausonia	9 Mare Cimmerium	15 Syrtis Major
4 Ceraunius	10 Mare Sirenum	16 Syrtis Minor
5 Hellas Planitia	11 Nilokeras	17 Trinacria
6 Hesperia	12 Propontis	

(les numéros sont utilisés sur les dessins)

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE
UN UNIVERS EN BULLES ET FILAMENTS

La vision d'un Univers à grande échelle ayant une structure cellulaire chaotique, sorte de structure en éponge, où les galaxies sont réparties en bordure de vastes zones vides au travers d'un réseau complexe de filaments, a été proposée pour la première fois il y a une dizaine d'années par l'astronome E. Einasto (Estonie, URSS). A l'époque, les conclusions s'appuyaient essentiellement sur l'interprétation d'importants catalogues donnant la position sur le ciel (ascension droite α et déclinaison δ) de milliers de galaxies. Pour dresser une cartographie précise de la répartition des galaxies dans l'espace, il est nécessaire d'avoir accès à la troisième dimension - en profondeur - , c'est-à-dire de déterminer, outre la position (α, δ) sur le ciel, la distance de chaque galaxie. C'est dans cette perspective que d'importants sondages de l'Univers ont été entrepris ces années récentes, pour mesurer la vitesse radiale V des galaxies, à partir du décalage vers le rouge des raies observées dans leur spectre, et en déduire à l'aide de la loi de Hubble leur distance d ($d = V/H_0$, où H_0 est la constante de Hubble).

Un important sondage, entrepris depuis 10 ans à partir d'observations optiques par le groupe du Centre d'Astrophysique de Harvard (USA), vient de révéler clairement que la distribution des galaxies est dominée par une structure en BULLES quasi sphériques de dimension caractéristique 50 Mpc (1 Mpc = un million de parsecs = 3,26 millions d'années de lumière). Les galaxies et amas de galaxies sont répartis à la surface de ces bulles qui délimitent donc, de grandes zones vides de matière lumineuse dans l'Univers. La région étudiée inclut l'amas de Coma et couvre 9h (soit 135°) en ascension droite et 6° en déclinaison dans une direction voisine du pôle galactique Nord, c'est-à-dire dans une zone optiquement claire en ce sens que l'on évite toute perturbation due à l'extinction produite par notre Voie Lactée. Les 1100 galaxies observées ont des vitesses radiales allant jusqu'à 15000 km s^{-1} et l'échantillon peut être considéré comme complet jusqu'à 10000 km s^{-1} (soit jusqu'à une distance de 100 Mpc si l'on adopte $H_0 = 100$). Le sondage réalisé correspond à une tranche réellement mince d'espace puisque son épaisseur est de 10 Mpc environ sur une profondeur de 100 Mpc.

Cependant l'Univers ne contient pas seulement des bulles et un autre sondage récent, réalisé à partir d'observations radioastronomiques en raie 21 cm avec le radiotélescope d'Arecibo, a révélé le détail d'une structure filamentaire linéaire le long de laquelle sont concentrés divers amas de galaxies (les amas de Pégase, des Poissons, de Persée en particulier). Le sondage réalisé ici, autour de la région dite du superamas des Poissons-Persée, comporte 2700 mesures de vitesse radiale jusqu'à 12000 km s^{-1} . A noter que cette région est proche de la Voie Lactée, ce qui rend son observation difficile par les moyens optiques alors que l'observation radio n'y est pas perturbée. Le FILAMENT principal se présente sous un point de vue particulièrement favorable; il s'étend à une même distance de 50 Mpc environ, sur une longueur de 40 Mpc et une épaisseur de 5 à 10 Mpc. En dehors de la région de concentration maximale délimitant le superamas, la structure apparaît très complexe et hétérogène avec certaines zones vides. Il semble de plus que certains filaments secondaires étroits rejoignent notre Supramas Local.

Toutes ces observations viennent remarquablement confirmer la structure d'Univers à grande échelle envisagée par Einasto, mais de nombreuses questions se posent aux théoriciens : comment expliquer la création de grandes structures vides et la formation des galaxies ? Autre défi pour les observateurs : les "vides" sont-ils réellement vides de tout gaz et galaxies ? sommes-nous au bord d'une bulle en expansion (notre "Bulle Locale") ?...

JOHANNES HEVELIUS et l'histoire d'une querelle astronomique

Par une belle matinée de printemps, le 26 mai 1679, un jeune homme de vingt-trois ans débarquait au port de Gdansk. Il revenait de faire un séjour à l'île de Sainte-Hélène pour compléter un catalogue des étoiles de l'hémisphère Sud. Il rapportait avec lui son instrument, un sextant muni d'un télescope. En débarquant il demanda la direction de la rue des Epices ; en arrivant au numéro 53, il aperçut aussitôt une terrasse aménagée sur le toit de cette maison et des maisons voisines et, sur cette terrasse, d'étanges constructions en bois et en cuivre. "Ah, je ne me suis pas trompé, se dit-il, c'est bien le "Stellaburgum" que je cherchais !" et il frappa à la porte. Et le soir même, sous le ciel étoilé, on pouvait voir trois hommes s'agiter avec les instruments. Avec l'aide de l'assistant de son hôte, le jeune homme mesura la distance entre deux étoiles situées dans Ophiuchus et Aquila ; il trouva $55^{\circ}19'00''$ puis, en changeant de place avec son hôte, il lut de nouveau $55^{\circ}19'05''$. Prenant alors l'instrument qu'il avait rapporté de Sainte-Hélène, il refit la mesure et retrouva la même distance $55^{\circ}11'00''$. "Ah, c'est vous qui avez raison, Maître, s'écria le jeune homme, et pas Robert Hooke."

Qui étaient donc ces personnages et de quoi s'agissait-il ? Le jeune homme s'appelait Edmond Halley ; il était envoyé par la Société Royale de Londres pour mettre fin à une dispute scientifique qui troublait la Société depuis des années. La dispute opposait deux de ses membres, le Polonais Johannes Hevelius et l'Anglais Robert Hooke. Il s'agissait de la possibilité de mesurer les distances angulaires des étoiles avec la précision de la minute d'arc ou même mieux. Les positions des étoiles publiées par Hevelius, faites sans utiliser de télescope, avaient une telle précision. Or, Hooke n'admettait pas qu'on puisse distinguer ainsi moins de 2 à 3' il disait qu'une personne sur cent peut parvenir à distinguer 1' mais absolument personne ne peut distinguer une demi minute ! Qui donc était cet observateur admirable, Johannes Hevelius ?

Il était né le 28 janvier 1611 à Gdansk, ville polonaise située au bord de la Baltique. Son père, Abraham Hoevelcke (Johannes a plus tard latinisé son nom), riche propriétaire de maisons et de brasseries, voulait que son fils l'aide dans les affaires et l'envoya pour cela étudier le droit à Leyde en 1630. Mais le goût des sciences avait été donné à Johannes par son professeur du gymnase, Pierre Krüger, de Königsberg ; alors, après avoir passé une année à Leyde, Johannes s'en alla étudier les mathématiques, l'optique, la mécanique à Londres, à Paris (où il connut Mersenne, Gassendi, Boulliaud), en Suisse et en Allemagne.

Il lui fallut bien rentrer à Gdansk, en 1634, pour reprendre l'administration des biens paternels, mais il se trouva que Catherine Rebeschke avec qui il se maria en 1635 l'aida très efficacement dans ses tâches administratives. Il put ainsi se consacrer presque entièrement à la science qui l'intéressait le plus, l'astronomie.

Le premier phénomène astronomique qu'il put observer fut l'éclipse annulaire de Soleil de 1639. Hevelius s'intéressa à la Lune ; il trouva qu'il ne disposait pas d'une bonne carte de ce satellite. Il se confectionna alors des télescopes d'une longueur de 6 et 12 pieds et il se mit à observer la Lune régulièrement. Pendant la journée, il dessinait ce qu'il avait observé, préparant lui-même les gravures. Il avait réussi à aménager les toits des maisons voisines (qui lui appartenaient) pour installer son observatoire -la Ville des Etoiles -"Stellaburgum".



Le portrait gravé de Johannes Hevelius tel qu'il apparaît dans sa première oeuvre, la Selenographia (publiée à Danzig en 1647), montrant l'astronome à l'âge de trente cinq ans environ.

Ayant entendu dire que Pierre Gassendi, à Paris, s'apprêtait aussi à dresser une carte de la Lune, Hevelius lui écrivit pour lui demander son opinion sur son projet en lui soumettant un échantillon de ses dessins lunaires. Ces dessins étaient d'une si haute qualité que Gassendi lui répondit avec enthousiasme : "Vous m'avez donné de vous-même ce que je n'aurais pas osé vous demander. Je vous remercie beaucoup pour vos magnifiques dessins. Je suis heureux de savoir que vous possédez un tel télescope. Mais vous avez de superbes yeux, des yeux de lynx et vous êtes si doué pour le dessin que ce ne pourrait être mieux fait. Non seulement je suis d'accord, mais je vous supplie de faire cette description de la Lune que j'ai eue moi-même en tête. Parce que moi, ne possédant pas de talent de dessinateur, je dois être aidé par d'autres, quand vous, avec vos rares talents, vous pouvez non seulement dessiner les objets, mais, ce qui est encore plus important, vous pouvez les graver vous-même..."

C'est en 1647 que paraît enfin à Gdansk l'oeuvre de Hevelius, la "Selenographia", description de la Lune. Le nom provient de Séléné, la déesse de la Lune chez les Grecs. Le volume contenait quarante dessins de la Lune aux différentes phases. Pendant 150 ans, cet ouvrage fut l'atlas lunaire le plus détaillé car il donnait non seulement les détails de la surface et leurs noms mais encore les hauteurs des montagnes trouvées en mesurant leurs ombres (méthode de Hevelius) ainsi que les limites de visibilité de la surface du globe provoquées par la libration (on voit ainsi près de 60% de la surface lunaire). La "Selenographia" reçut un accueil enthousiaste du monde savant, Hevelius reçut de nombreuses lettres de félicitation de Paris (Gassendi, Boulliaud, Mersenne), des universités d'Oxford et de Cambridge, des universités d'Italie.

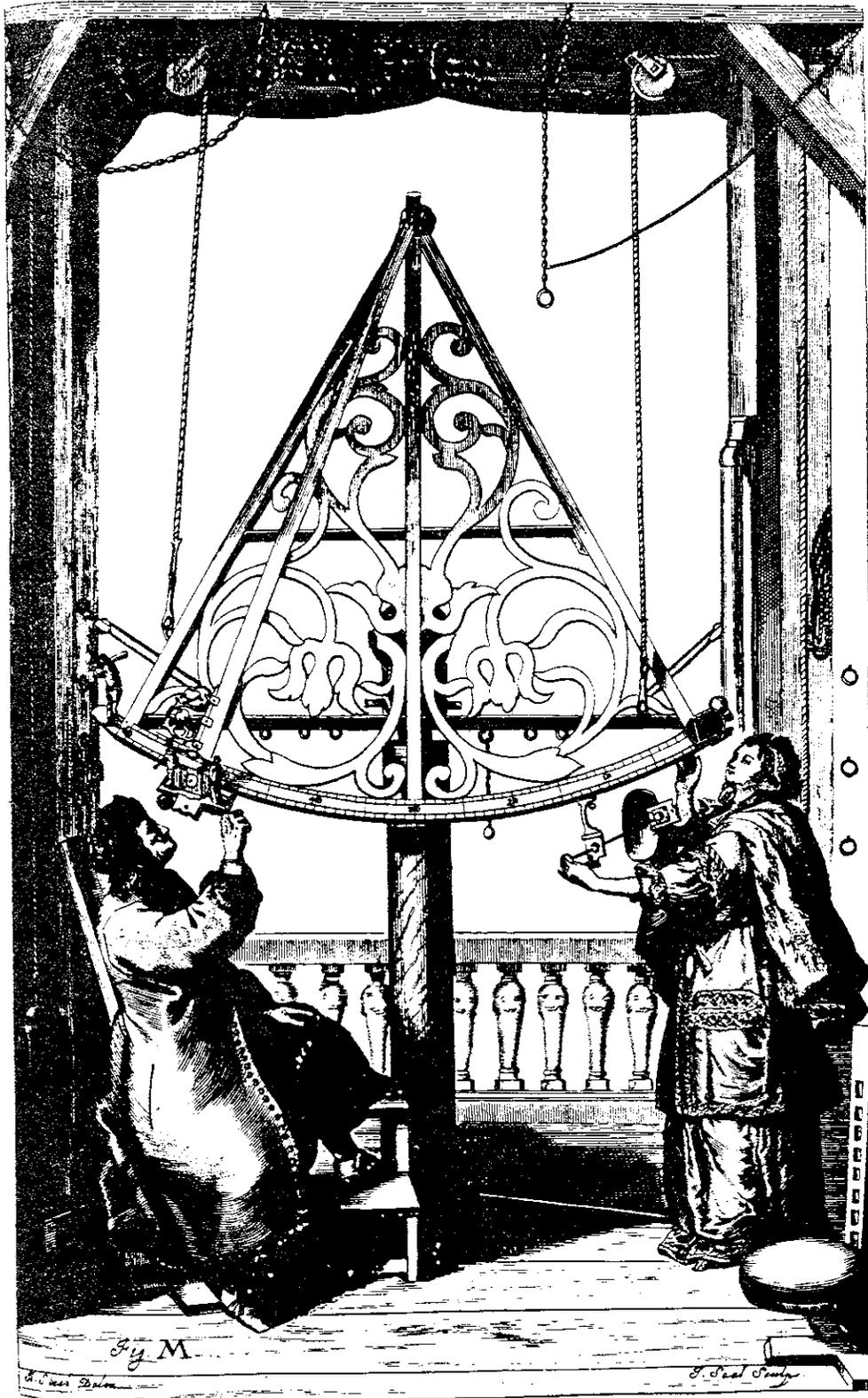
Mais il avait encore d'autres projets : préparer un catalogue des positions de quelques milliers d'étoiles car le catalogue de Tycho Brahé récemment publié par Kepler n'en contenait que mille. Pour mesurer les distances angulaires des étoiles entre elles, Hevelius utilisa les instruments traditionnels - le quadrant, le sextant, l'octant - qu'il construisit lui-même, en bois ou en cuivre richement ornés.

Dans l'une de ses trois maisons, il put enfin installer sa propre imprimerie, ayant reçu l'autorisation du roi Jean II Casimir et de la reine Marie Louise Gonzague. Dans ses travaux d'observation, il fut alors aidé par sa seconde femme, Elisabeth Koopman (de 36 ans plus jeune que lui), qu'il avait épousée en secondes noces un an après la mort de Catherine (1662).

Tout en préparant son catalogue d'étoiles, Hevelius observa des comètes. Il publia d'abord, en 1665, une oeuvre plus courte, "Prodromus Cometicus", dédiée à Jean-Baptiste Colbert qui lui avait procuré une subvention du roi Louis XIV, et, trois ans plus tard, la "Cometographia" qui donnait la description détaillée des neuf comètes qu'il avait observées.

En 1664, Johannes Hevelius fut élu membre de la Société Royale de Londres. En 1673 parut enfin la première partie de son oeuvre la plus importante, "Machina Coelestis", qui concernait les méthodes d'observation utilisées pour le futur catalogue d'étoiles ; oeuvre dédiée au roi Louis XIV.

Un an plus tard, paraissait à Londres "Animadversions", la critique de "Machina Coelestis" par Robert Hooke, professeur de géométrie à Oxford et membre de la Société Royale. Hooke avait déjà échangé des lettres avec Hevelius en 1665 au sujet de la précision qu'il était possible d'atteindre dans les mesures. Hevelius proposait, pour tester sa méthode de mesurer les distances de huit paires d'étoiles situées dans le ciel sur un grand cercle proche de l'écliptique ; la somme de leurs distances en longitude devait donner à peu près 360° ; ce fut justement le cas des mesures effectuées par Hevelius.



Hevelius et sa femme Elisabeth observant au sextant de six pideds en cuivre (extrait de Machina Coelestis Pars Prior).

Dans une lettre au Secrétaire de la Société Royale, Henry Oldenburg, en 1668, il précisait : "...Je suis très reconnaissant à vous-même ainsi qu'à M.Hooke pour la description des télescopes. La méthode pour observer au télescope avec l'aide d'un sextant ou d'un quadrant ne me semble pas plus précise que la méthode ordinaire parce que les télescopes ne peuvent pas être aussi solidement attachés et fixés que les sextants et les quadrants. Je propose qu'on fasse l'observation des distances de huit paires d'étoiles (c'est à dire de Aries à Taurus, de Taurus à Gemini, de Gemini à Leo, de Leo à Virgo, de Virgo à Ophiucus, de Ophiucus à Aquila, de Aquila à Pegasus, de Pegasus à Aries), qu'on les fasse avec un télescope et qu'on compare avec mes distances obtenues au sextant..."

Mais Hooke n'observait pas lui-même aussi ne pouvait-il pas démontrer qu'il avait raison. Enfin, avec la fondation de l'Observatoire Royal à Greenwich en 1675, on put croire la querelle terminée. Le premier astronome royal, John Flamsteed essaya de mesurer les distances des étoiles avec un sextant muni d'un télescope, en 1676 ; un an plus tard, on put lire dans les "Philosophical Transactions" : "... On recommande à M.Hevelius de poursuivre et de terminer son catalogue d'étoiles fixes et on lui fait savoir que les mesures de M.Flamsteed sont en accord avec les siennes... Ce que M.Hooke a publié contre lui n'a pas l'approbation de la Société..."

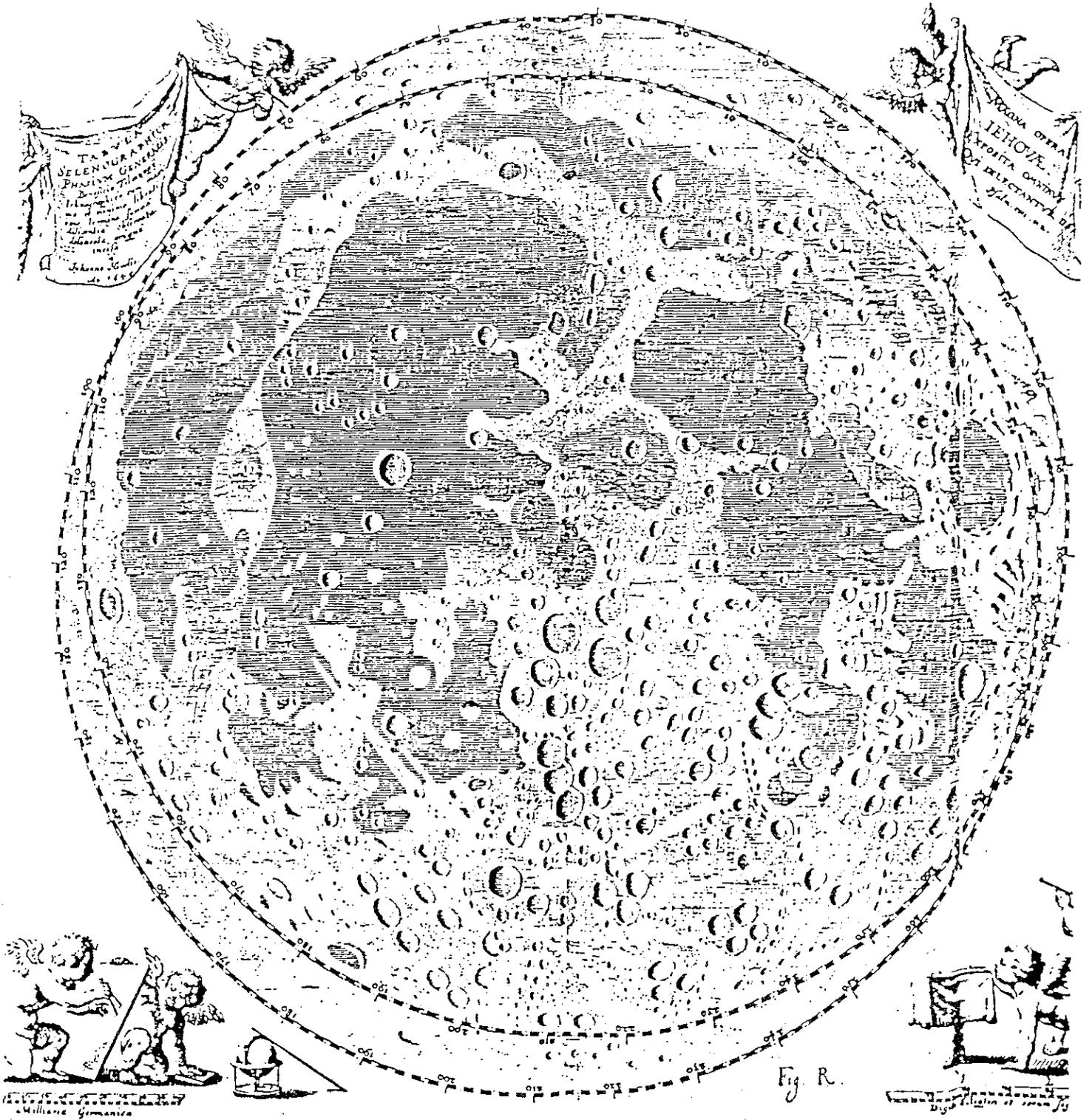
Si on compare maintenant les distances de ces huit paires d'étoiles observées par Hevelius, les observations anciennes de Tycho Brahé datant de 1585 et celles de John Flamsteed datant de 1680 avec les déterminations modernes, on s'aperçoit qu'aucun des écarts de Hevelius n'est supérieur à 50", alors que ceux de Flamsteed n'excèdent pas 27". Les écarts-types sont 27" pour Hevelius, 18" pour Flamsteed et 34" pour Rycho. On voit ainsi que l'usage qu'a fait Flamsteed d'un télescope ne lui a pas permis d'atteindre la précision souhaitée par Hooke. C'est d'ailleurs longtemps seulement après la mort de Hevelius que Flamsteed réussit à perfectionner ses télescopes.

On peut donc conclure que Hevelius possédait vraiment une vue tout à fait exceptionnelle, qu'il était non seulement le dernier mais sans doute le meilleur observateur à l'oeil nu. S'il avait eu le temps d'analyser et comparer ses positions d'étoiles avec celles de Tycho, peut-être aurait-il remarqué que les étoiles ne sont pas réellement fixes!

Mais revenons à la visite de Halley qui avait pour but de voir quels étaient les instruments dont disposait un astronome doué d'une aussi bonne vue. C'est le 5 juin 1679 que Hooke lut une lettre de Halley à une réunion de la Société Royale. Halley écrivait que les instruments de Hevelius étaient d'une qualité remarquable, qu'ils n'étaient pas munis de télescopes et que Hevelius faisait ses mesures à une demi minute d'arc près alors que lui-même Halley ne pouvait faire mieux qu'une minute d'arc près. En partant de Gdansk, le 18 juillet 1679, Halley écrivit en latin une sorte d'attestation en faveur d'Hevelius, texte qui, plus tard, fut publié dans les "Philosophical Transactions" : "... (M.Halley) déclare qu'il est entièrement satisfait de l'usage des instruments et des observations... Il a été témoin de la précision des mesures faites avec ces instruments, contre ceux qui voudraient le nier. Il a vu de ses propres yeux une multitude d'observations faites avec le grand sextant de cuivre (même celle qui étaient effectuées par différents observateurs et également par lui-même quoi qu'il eut été moins diligent), répétées plusieurs fois avec la même précision ne différant que d'une imperceptible partie de la minute d'arc..."

En cette même année 1679, Hevelius parvint à publier la seconde partie de "Machina Coelestis" dans laquelle il donnait déjà une partie des positions d'étoiles préparées pour le catalogue.

Et puis, catastrophe ! Le 26 septembre 1679, un grave incendie ravage le domaine de Hevelius, les maisons, l'observatoire, l'imprimerie, la bibliothèque, des lettres et des manuscrits, tout est détruit ! Heureusement,



L'une des trois grandes planches de la Lune gravées par Hevelius pour sa Selenographia publiée en 1647. Ces planches furent considérée comme les premiers dessins méritant d'être appelés des cartes de la Lune.

Catherine Elisabeth, la fillette de treize ans, a réussi à sauver le manuscrit du catalogue d'étoiles ! Le catalogue est sauvé, mais il n'y a plus d'observatoire, plus d'instruments, plus d'imprimerie ! Il faut tout recommencer et Johannes Hevelius a déjà 68 ans. Il ne se décourage pas, recommence encore une fois à chercher aide de ses protecteurs. Il écrit au roi Louis XIV, une lettre pleine de pathos ; il reçoit l'aide espérée. Le roi Polonais Jean III Sobieski lui adjuge une subvention annuelle de mille gulden pour le reste de sa vie.

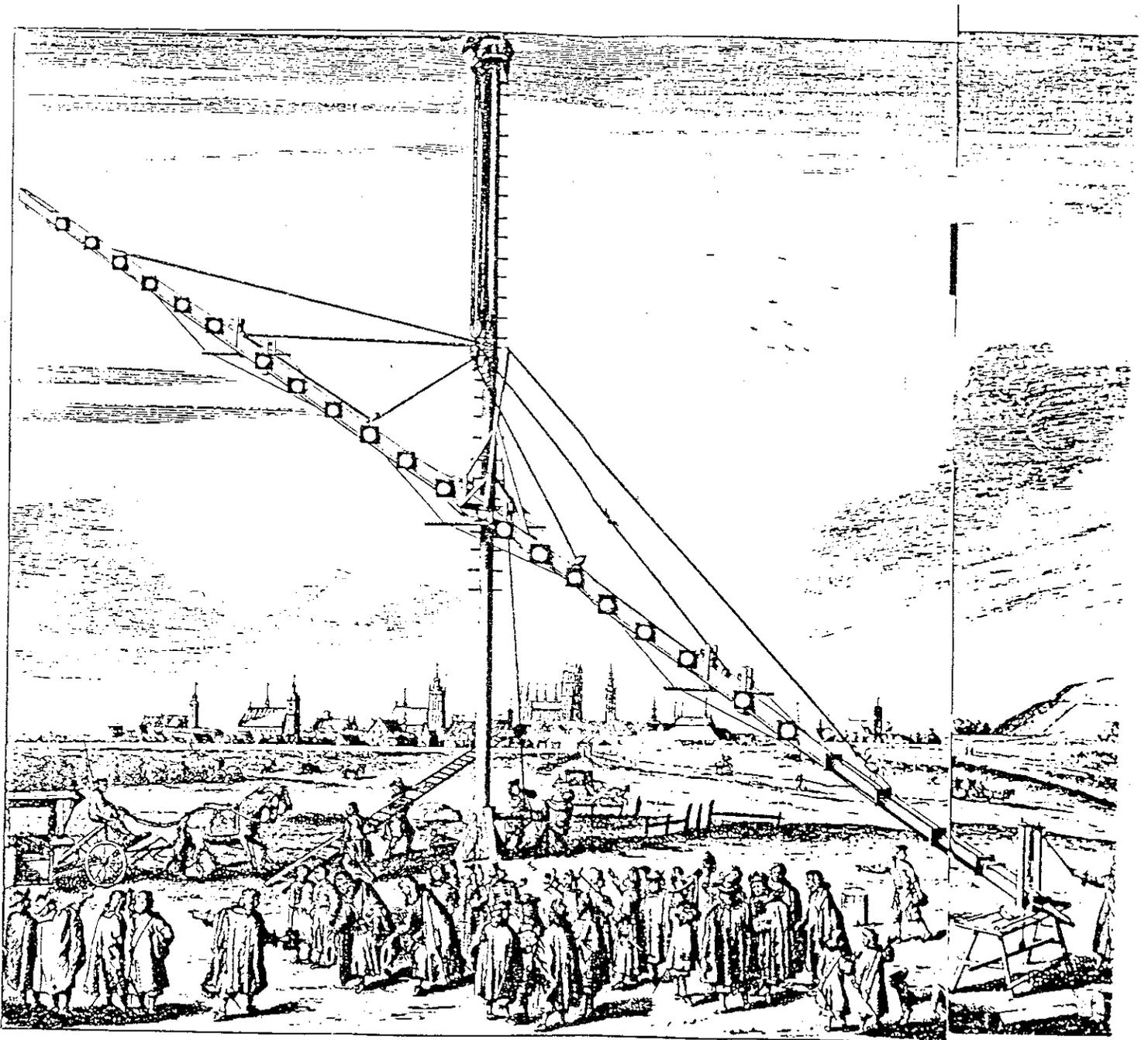
En 1681, le nouvel observatoire est construit mais les nouveaux instruments ne valent pas les précédents. En 1685, Johannes Hevelius publie une étude sur les méthodes d'observation à partir de ses nouvelles observations. Il intitule cette publication "Annus Climacterius" - année terrible - car il y raconte l'incendie. Il veut maintenant publier son catalogue d'étoiles fixes, mais le volume n'est qu'à demi imprimé quand meurt l'auteur, juste le jour de son 76^{ème} anniversaire, le 28 janvier 1687. Que deviendra le catalogue ?

Heureusement, Elisabeth, sa femme et son assistante, est là. Elle organise la publication des oeuvres de son mari ; en un seul volume, elle rassemble "Prodromus astronomicae", "Catalogus Stellarum Fixarum" et "Firmamentum Sobiescianum" - atlas du ciel dédié au roi Jean III Sobieski. Dans les cartes du ciel, Hevelius a ajouté douze constellations nouvelles ; l'une d'elles est dénommée "Scutum Sobiescianum", l'écu de Sobieski, avec les armoiries du roi. On peut le voir près du Sagittaire dans toutes les cartes du ciel de notre temps, avec le nom de l'écu -Scutum.

Une autre constellation que nous devons à Hevelius, c'est le Lynx - le loup-cervier, qui contient des étoiles tellement faibles qu'il faut des yeux de lynx pour les voir ! Une autre encore nous rappelle l'instrument principal dont se servait Hevelius, le Sextant. Presque tous les noms donnés aux constellations nouvelles par Hevelius ont été retenus jusqu'à nos jours.

Après la mort d'Elisabeth Hevelius, en 1693, les manuscrits et les livres revinrent aux filles qui s'étaient mariées. La ville de Gdansk fut plusieurs fois incendiée et ravagée au cours de l'histoire. Il ne reste plus beaucoup de manuscrits de l'astronome : le manuscrit du "Catalogus Stellarum" a été acquis par la bibliothèque de l'Université de Brigham Young à Provo (Utah, USA) ; le manuscrit était leur millionième volume. A l'occasion de cette acquisition, cette université a publié un volume sur Johannes Hevelius d'où j'ai tiré une partie des informations de cet article.

Finalement, on peut dire que l'activité astronomique de Johannes Hevelius s'est déroulée à une époque charnière, entre l'époque de l'astronomie sans télescope et celle de l'astronomie télescopique. Il fut le dernier astronome à utiliser sextants et quadrants sans télescopes pour mesurer les distances angulaires. Il a cependant construit lui-même des télescopes ; le plus grand était un géant de 45 mètres de long, haut de 27 mètres, avec un objectif de 20 cm et une monture ajourée ; il donnait un grossissement de 50 fois on l'installait en dehors de la ville pour le temps des observations. Mais l'instrument avait beaucoup de défauts : la courbure de la monture, les erreurs dues à l'ajustement (recherche du centre de l'image), les difficultés de la mise en station du télescope ; on n'est pas étonné d'apprendre que l'instrument ne fut utilisé que très rarement. Et c'est sûrement à cause des difficultés dans le maniement de tels télescopes que Hevenius préféra toujours son sextant de six pieds et son quadrant de cinq pieds, tellement plus stables que le télescope géant !

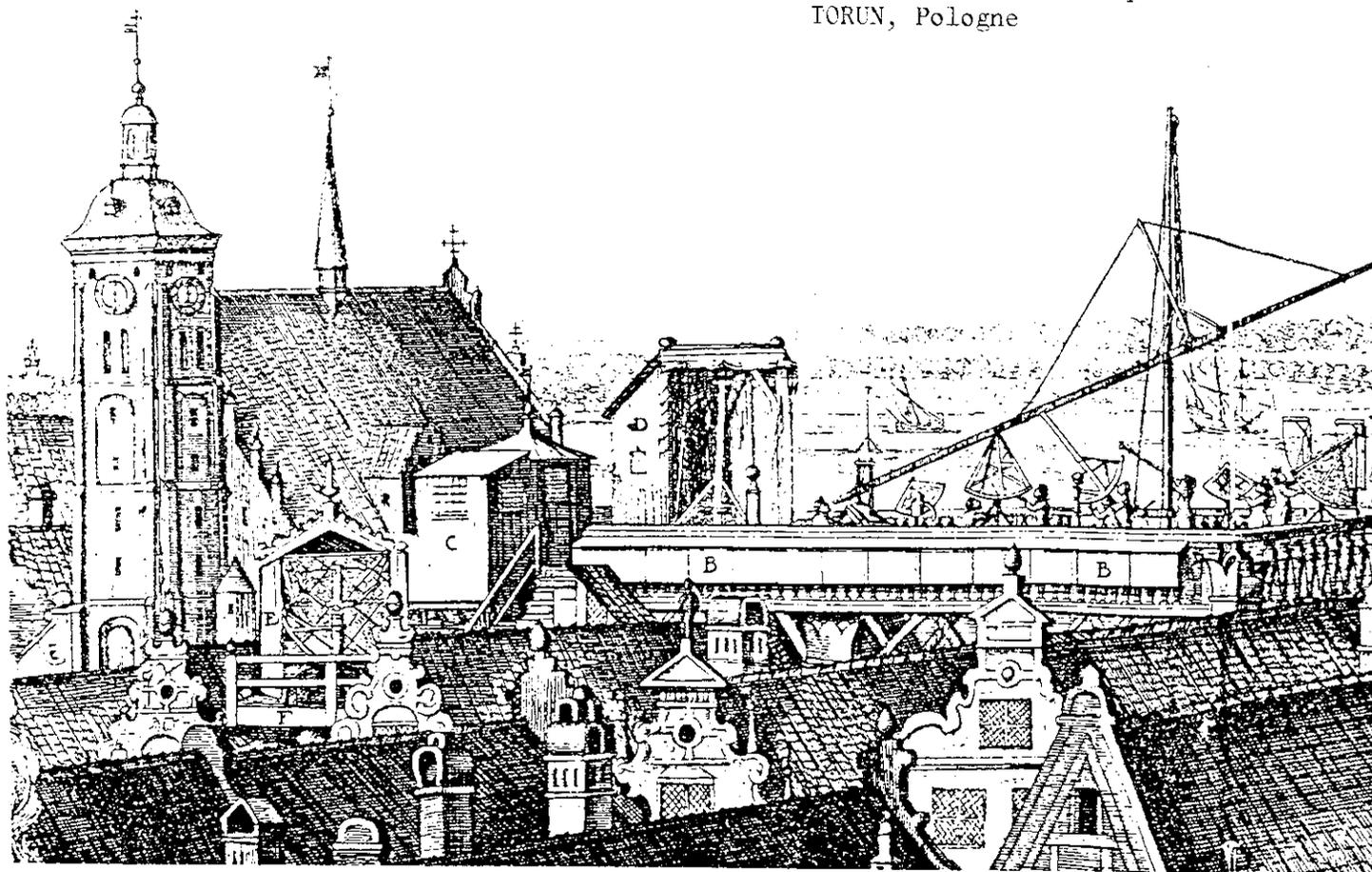


Vue devant un panorama de Gdansk, voici l'une des grandes lunettes construites par Hevelius pour tenter d'accroître la résolution. Celui-ci fut l'un des moins réussis de ses instruments en raison de sa lourdeur et du tremblement des images. Plusieurs instruments de ce type furent détruits dans l'incendie de l'Observatoire en 1672 (document tiré du "Machina Coelestis Pars Prior").

La liste des publications de Hevelius comprend dix-neuf imprimés de Gdansk, dix-sept articles dans les "Philosophical Transactions" de Londres et douze articles dans les "Acta Eruditione" de Leipzig.

Comme il n'a pas donné d'interprétation théorique des phénomènes qu'il avait observés, ses oeuvres furent vite oubliées. Mais auod'hui, en ce tricentenaire de sa mort, on devrait se souvenir de Johannes Hevelius comme continuateur du grand observateur que fut Tycho Brahé. Et, de plus, se souvenir aussi que l'observatoire "Stellaburgum" de Gdansk fut un important centre scientifique en Europe avant la fondation des Observatoires de Paris (1667) et de Greenwich (1675).

Cecilia IWANISZEWSKA
Institut d'Astronomie
Université Nicolas Copernic
TORUN, Pologne



Au dix-septième siècle, le "Stellaburgum" de Hevelius était le meilleur observatoire astronomique en Europe. La terrasse qui portait les instruments était construite au-dessus des toits de trois maisons voisines. Les instruments principaux étaient protégés des rigueurs de l'environnement par des pavillons mobiles.

LECTURES POUR LA MARQUISE et pour ses amis

L'UNIVERS DES ETOILES

un livre par Lucette Bottinelli et Jean-Luc Berthier; 260 p (70F + 9F de port), éd Gammaprim, 5 rue des Bruyères, 95810 EPIAIS-RHUS

Les livres de vulgarisation, en astronomie, ne manquent pas. Mais, trop souvent, ils veulent couvrir toute l'astronomie et ne peuvent ainsi donner qu'une vue assez superficielle de recherches aujourd'hui foisonnantes. Il en est d'autres qui se montrent fort ambitieux et qui, à partir de considérations proprement astronomiques s'engagent dans des réflexions d'un autre ordre, peut-être philosophique, en tout cas moins rigoureusement scientifique. Comme toute oeuvre littéraire, un ouvrage de vulgarisation doit réaliser un équilibre entre les exigences de la science et celles de la communication. L'expérience montre que cette réalisation est hérissée d'obstacles.

Cet Univers des étoiles échappe aux dangers du genre pour trois raisons un sujet bien choisi et bien délimité, des auteurs qui ont su conjuguer leurs savoirs scientifiques et pédagogiques, une présentation du texte qui en facilite la lecture et l'assimilation.

Sujet bien choisi et bien délimité. Un peu à la manière qui avait si bien réussi à Jean-Claude Pecker dans "Sous l'étoile Soleil". Ici, à partir des étoiles, de l'observation la plus banale -celle des constellations - aux observations plus raffinées - les éclats, les spectres,...- on s'engage dans l'astrophysique par la bonne porte. Autrement dit, accès facile. Mais on ne reste pas dans l'antichambre, on étudie les spectres -il y a tellement d'informations à en tirer - on tire parti de la variété des étoiles un peu à la façon dont un promeneur avisé s'instruit en forêt ; il imagine des classifications, il pratique quelques mesures, il classe et range des collections. La "Flore Bonnier", ici, c'est le diagramme HR, cette merveille. On s'émerveille encore plus quand on compare les diagrammes HR d'amas, on repère le plus vieux comme sur les arbres coupés on dénombre les cercles de croissance.

Retour obligé au Soleil, cette étoile si proche qu'on peut l'explorer en surface et même déjà un peu en profondeur (au centre des taches) ; ou encore filmer les soubresauts de son atmosphère. Comment ne pas s'en inspirer pour construire le modèle de l'étoile standard, celle qui n'est identique à aucune étoile particulière.

La foule des étoiles, leurs distances (échelle des divers procédés d'évaluation), les masses; ceci toujours en ayant un oeil sur le spectre. Comment ne pas se poser la vieille question "pourquoi brillent-elles ? En arriver à cette idée, aujourd'hui familière, les étoiles évoluent comme les arbres de la forêt, les grands arbres, les jeunes pousses et les vieux troncs pourris. Ce ciel que l'on disait lieu de l'éternel est celui des grandes évolutions dont certaines catastrophiques.

Tout cela en guère plus de deux cents pages. Les deux auteurs ont réussi à bien accorder leurs talents respectifs. Nous, anciens des écoles d'été, connaissons la clarté des exposés de Lucette Bottinelli ; les lecteurs des Cahiers apprécient ses "potins de la Voie Lactée" grâce auxquels elle nous donne un écho des dernières découvertes. Nous savons aussi qu'elle n'enseigne pas qu'aux écoles d'été, qu'il y a les cours et les stages d'Orsay et que s'y ajoutent ses travaux de recherche à Meudon et à Nançay. Il faut donc apprécier l'initiative de Jean-Luc Berthier qui a eu l'idée de mettre son goût pour la communication au service de ce travail en commun. Le lecteur ne se rendra peut-être pas compte du travail de coordination que cela représente, mais on ne lit pas un livre pour honorer les auteurs, on lit pour se faire plaisir ; ici, L et J-L ont réussi.

La présentation de l'ouvrage est originale ; texte sur deux colonnes avec maints encadrés, schémas et photos. Ces dernières nombreuses mais pas trop (ce n'est pas un livre d'images) et toujours très bien légendées. Quelques dessins humoristiques également (j'ai bien aimé "Max Planck offrant un beau cadeau à la science, la théorie du corps noir", situation qui n'était pas tellement facile à représenter ; j'ai moins aimé "Dis-moi quel est ton spectre, je te dirai qui tu es !")

Alors, rien que des compliments pour ce livre ? Les lecteurs penseront (à tort) que c'est pure complaisance pour une astronome qui fait partie des fondateurs des Cahiers Clairaut. Son livre, justement, ne fait aucune allusion au CLEA non plus qu'aux Cahiers, c'est un reproche qu'on peut lui faire : pas de bibliographie. Mais que les lecteurs, ici, pensent ce qu'ils veulent, j'ai lu ce livre avec attention et je l'ai aimé. Ce qui ne m'a pas empêché de "l'éplucher". Ainsi j'ai été surpris de lire p.166 que des neutrinos, sans masse jusqu'à nouvel avis, pouvaient être "produits massivement" dans certaines réactions nucléaires : piège du langage courant. J'ai même été scandalisé - le mot n'est pas trop fort - de lire, P.34, que des équations pouvaient être "barbares" ; je n'en revenais pas, toute équation est un fleuron de civilisation. Et bien, malgré ce "barbare" et ce "massivement", je suis persuadé que vous aussi, vous aimerez ce livre.

LES DISTANCES DES GALAXIES, UNE CLE DE LA COSMOLOGIE

***** par Lucette Bottinelli
et Lucienne Gouguenheim, un article de douze pages dans le n°108, octobre 1986 de Pour la Science.

Mention spéciale de cet article doit être faite ici et pas seulement parce que ses Auteurs ont les responsabilités que l'on sait dans le CLEA et les Cahiers Clairaut. Mais surtout, le sujet est, pour nos amies, au centre de leurs recherches. Elles peuvent donc donner, dans un raccourci saisissant, l'état actuel du problème ; elles analysent la portée des résultats obtenus par elles-mêmes et par les équipes qui travaillent dans le même domaine, ce qui permet de comprendre ce que ces résultats impliquent. Je conseillerai de lire leur article, paru en octobre, avant celui de Jack Burns sur "Les plus vastes structures de l'Univers" par dans le numéro précédent de Pour la Science. Tant il est vrai que la compréhension des moyens d'exploration aide à saisir les conceptions synthétiques (j'avais lu l'article de Burns en premier, je le relis maintenant après celui de nos amies, j'en profite mieux).

Pas question pour moi de résumer en quelques lignes les douze pages très denses de l'article. Très dense mais, rassure-vous, parfaitement clair ; je vous recommande la page de l'échelle des procédés de mesure des distances ; les légendes des photos jouent le rôle d'encadrés explicatifs. Quand j'essaye de mieux saisir ce qui fait la valeur exemplaire d'un tel article (pour en faire mon profit si j'avais à exposer quelque chose), je trouve un trait commun avec le livre précédent ou avec les "Méthodes de l'Astrophysique" de Lucienne Gouguenheim : partir d'un problème. A-t-on jamais fait de l'astronomie pour le seul plaisir d'observer ? Je ne crache pas sur ce plaisir, mais, pensez-y, ce ne peut être pour voir une grande ourse dans le ciel qu'on a levé la tête. On voulait repérer, se repérer ; ensuite se situer, plus tard commencer à comprendre, on commence seulement...

Accéder ainsi à l'idée des grandes structures. Il me paraît tout à fait normal que l'idée des superamas d'amas de galaxies introduite par Gérard de Vaucouleurs ait d'abord heurté, on s'était bien habitué à un espace peuplé de galaxies de façon assez homogène. Et maintenant, faudra se faire à ce modèle de filaments d'amas de galaxies englobant des espaces très vides ("très" signifiant, bien sûr, pas complètement). Pas facile d'être à jour dans sa conception du monde !

L'HEURE DE S'ENIVRER

par Hubert Reeves ; collection "Science ouverte", 280p,
éd Seuil ; 89 F

Attention au titre du livre ; le prendre, ce titre, à mon avis, comme un bon conseil à ne pas suivre. Attention également au sous-titre : "L'Univers a-t-il un sens ?" On est en droit de se demander si la question en a un.

On peut ne pas aimer le ton un peu prophétique des écrits de Reeves. J'avoue avoir beaucoup d'admiration pour son talent d'écrivain. Dans la première partie du livre actuel, qu'il intitule "Pulsion de mort", il pose de façon brillante l'angoisse du scientifique devant la bombe et la prolifération des armes nucléaires. Dans la seconde partie, "Pulsion de vie", contrepartie, la complexité de la nature, l'organisation et - si l'on peut dire - l'avenir de l'énergie. C'est plus difficile mais l'Auteur a des ressources derrière sa grande barbe, il propose une piste verte pour ceux qu'effraient les formulations mathématiques, une piste rouge pour les lecteurs plus aguerris.

Troisième partie, "Péché originel", avec cette question dans le style à faire baver d'envie les journalistes de la "grande" presse : "L'intelligence est-elle un cadeau empoisonné ?" Autant vous l'avouer, j'aime moins. Quatrième partie, "Une note d'espoir" ; tout le livre dans ce bon raccourci : "L'Univers engendre la complexité. La complexité engendre l'efficacité. Mais l'efficacité n'engendre pas nécessairement le sens. Elle peut aussi engendrer le non sens." Suivent des pages dans lesquelles un Hubert Reeves qui ne veut pas se faire moralisateur moralise tout de même. C'est là qu'à mon avis il ne faut pas s'enivrer.

HR (car notre Auteur a des initiales de diagramme) cite Weinberg qui, dans Les trois premières minutes, écrivait : "Plus on comprend l'Univers, plus il nous paraît vide de sens" et lui répond : "Je le mets au défi de répéter ces mots en écoutant les Noces de Figaro." Là, vous réagirez comme vous voudrez. Avec Reeves, ces Noces me transportent, mais avec Weinberg, cet Univers me laisse sans voix. Et puisque Reeves cite Camus, je le renvoie à son Sisyphé : "Cet Univers désormais sans maître ne lui paraît ni stérile, ni futile... Il faut imaginer Sisyphé heureux."

L'OBSERVATION DU CIEL

Guide d'astronomie pratique par Michel Dumont ; préface de Jean Heidmann ; un volume 224 p. de grand format, cartonné et illustré.

Voici un beau livre réalisé par un auteur qui, aussi bien dans la Société Astronomique de France que dans le planétarium du Palais de la Découverte a la grande pratique des conseils utiles aux observateurs amateurs.

Dans ces 224 pages, on trouve aussi bien les données sur les instruments que les techniques simples pour observer les éclipses, les satellites des grosses planètes, les étoiles, les amas, les galaxies ... Un court chapitre sur les calculs. Un index très complet et une bonne bibliographie.

Je compare ce livre avec un petit bouquin un peu fatigué de ma bibliothèque, le Manuel pratique d'astronomie qui avait été initialement réalisé par Lucien Rudaux puis qui avait été revu et complété par de Vaucouleurs pour l'édition de 1952 chez Larousse. Les plans des deux ouvrages sont similaires car les intentions des auteurs, visiblement, l'étaient. Le livre de Michel Dumont bénéficie d'une bien plus belle présentation ; le format a grandi (22/28 cm au lieu de 13/19), les figures et les photos profitent de la couleur. On aborde aussi des questions plus difficiles, par exemple l'observation des occultations par la Lune (excellent schéma p.61).

G.W.

Une expérience à l'école primaire : LES PHASES DE LA LUNE

Pendant l'année scolaire 85-86, trois écoles de la vallée de la Madeleine à Nice participaient à un PAE "Pêcheurs de Lune" (réalisation d'instruments de musique, de costumes, de décors, chants,...). Les enseignants de onze classes, du CP au CM2, ont alors souhaité en profiter pour permettre une approche scientifique à leurs élèves.

Sur nos conseils, ils ont fait faire le plus d'observations possibles aux enfants, observations souvent accompagnées de dessins. Notre but était donc, lors de notre venue, de faire comprendre les phases observées.

La séance commençait par une discussion avec les enfants ; ceux-ci nous faisaient part de leurs observations, de leurs connaissances, de leurs interrogations qui prouvaient à la fois leur intérêt et l'étendue du travail effectué avec les enseignants. Chaque classe était alors partagée en deux :

1) pendant une demi heure, un groupe utilisait un planétarium Baader pour observer les mouvements de la Terre et de la Lune, le jour et la nuit, les éclipses, puis assistait à une projection de diapositives ("premiers pas sur la Lune" ou "La Lune vue par les peintres" selon la demande des enfants) ; 2) l'autre groupe effectuait une manipulation. Les deux groupes échangeaient leurs activités au bout d'une demi heure.

Pour cette partie 2, nous utilisons des boules de polystyrène ($\varnothing=10\text{cm}$) fixées sur des crayons. Dans un premier temps, les enfants étaient par groupes de trois ; l'un, tenant la boule-Lune à la main, avançait par unités de $1/8$ de cercle autour du deuxième représentant la Terre. Celui-ci devait faire trois tours sur lui-même (repère:le Soleil) par unité afin d'éviter (ce qui arrive souvent) que les enfants ne concluent que la rotation de la Terre et la révolution de la Lune sont synchrones. Des dessins représentant la partie éclairée de la boule-Lune et les positions respectives Soleil, Terre, Lune étaient réalisés à chaque "unité".

A la fin, les élèves et les maîtres des deux CM2 se déclaraient satisfaits de cette "bonne" révision. Pas nous ! Pourquoi ? Voici nos raisons : 1. Le nombre de petits groupes (5 ou 6) ne nous avait pas permis de contrôler chacun d'eux ; 2. Les enfants mettaient plus de temps que nous ne l'avions prévu par suite de leurs hésitations ; dans certains groupes, il n'avait pas été possible de réaliser une lunaison complète ; 3. le contraste ombre-lumière n'était pas très net ; 4. le Soleil, bien que voilé, haut dans le ciel, éclairait légèrement la partie supérieure des boules ce qui conduisit à des dessins comme ceux-ci :



Prenant en considération les difficultés rencontrées dans cette première expérience, et pensant aux plus jeunes élèves que nous allons rencontrer ensuite, nous avons pensé cette séance un peu autrement.

Deuxième expérience : Cette fois, nous travaillons dans une salle assombrie, le contraste est meilleur. Le Soleil est une lampe puissante (mais pas un projecteur de diapos qui s'avère trop "directif"). La Lune est toujours une boule de polystyrène, la Terre figurée par un élève au centre d'un cercle représentant la trajectoire de la Lune. Huit élèves occupent sur ce cercle, les positions correspondant aux nouvelles, pleine Lune, croissants, quartiers, gibbeuses. Sur une table un peu éloignée sont disposées huit grandes cartes de bristol sur lesquelles sont représentées ces différentes phases.

Après un petit travail de réflexion sur la forme de la partie éclairée de la Lune, les positions respectives des trois astres, les sens des rotations, la suite de l'activité est présentée comme un jeu. Les enfants se passent la "Lune" de main en main, mouvement qui s'arrête au top de l'animateur

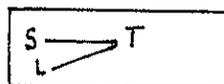
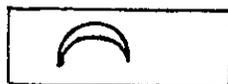
La "Terre" doit alors aller prendre sur la table la carte correspondante. Revenu au centre du cercle, cet élève compare la carte qu'il vient de choisir avec la situation actuelle qu'il peut observer, confirmant son choix en remettant la carte à la "Lune" ou, utilisant son droit à l'erreur, en retournant la changer. Le choix terminé, les élèves placés derrière le joueur (c'est à dire dans la même direction) confirment ou non la réponse sous le contrôle de l'animateur. Après chaque réponse exacte - ce qui devient de plus en plus rapide - la "Terre" indique avec ses mains les directions du Soleil et de la Lune tout en lisant à haute voix le nom de la phase indiquée par ailleurs sur la carte. Et l'on change de joueur pour représenter la Terre.

Seul problème, cette fois : au lieu d'une seule "Terre", dans l'enthousiasme de la participation, nous en avons plusieurs qui, malheureusement, ne reprenaient pas exactement leur place initiale. Cela nous a amené à placer des chaises aux positions souhaitées en imposant aux élèves de ne pas les bouger ; les participations intempestives ne sont plus alors un problème, chaque enfant retrouvant facilement sa place (un petit cercle à la craie peut éventuellement remplacer la chaise).

Toutes les séances réalisées ensuite de cette façon nous ont donné satisfaction. Un enfant de CE2 nous avait dit, en début de séance : "j'ai vu que la Lune change de forme, je me demande pourquoi." A un moment du jeu, tout à coup, il s'est écrié : "Madame, j'ai compris pourquoi la Lune change de forme" alors qu'à aucun moment nous n'avions donné d'explication.

Nous pensons effectivement que les enfants ont bien intégré le pourquoi des phases et ceci pour deux raisons. Pour certains élèves, nous revenions la semaine suivante aborder le thème des planètes. Pendant la projection des diapositives, Mars et Vénus en phases, Jupiter, ses satellites et leurs ombres, l'anneau de Saturne, les élèves de CE2, à notre grand étonnement, nous indiquaient sans erreur pourquoi ces phases et quelle était la direction du Soleil au moment de la prise de vue pour chaque photo.

Avec d'autres élèves, nous avons utilisé un jeu de société de notre fabrication, un "memory" dans lequel les cartes à jumeler représentent l'une une phase de la Lune, l'autre les positions T,S,L respectives des trois astres. Exemple :



Malgré la difficulté de symbolisation, les enfants y parvenaient, souvent après une mimique qui, visiblement, les ramenait au jeu précédent pour vérifier leur réponse.

J-M.Auzias - J.Chappelet
Planetarium du Collège J.Valéri

UNE DATE A RETENIR :

Dimanche 25 janvier 1987 de 10 h à 18 h

Assemblée Générale du CLEA - ORSAY Université Paris Sud bâtiment 470

19870125 - Dimanche 25 janvier 1987 - 19870125 - Dimanche 25 janvier 1987

Alors, un dimanche à la campagne ? Non, un dimanche au CLEA, un dimanche à l'astronomie !

LES SYSTEMES DE RAIES D'ABSORPTION DES QUASARS

Les quasars ou QSOs pour "quasi-stellar objects" sont à bien des égards des objets tout à fait remarquables. D'abord, il s'agit des sources les plus lointaines actuellement connues comme l'indique la grande valeur du décalage vers le rouge de leurs raies d'émission. Ce décalage ou redshift, Z_e , est défini par $\lambda_{\text{obs}} = (1 + Z_e) \lambda_0$ où λ_{obs} et λ_0 désignent les longueurs d'onde observée et au repos pour la raie considérée. La plus grande valeur connue égale 3,8, ce qui, interprété dans le cadre des modèles cosmologiques standards (expansion de l'Univers), correspond à une distance telle que le temps de propagation de la lumière est voisin de 7 milliards d'années et devient comparable à l'âge de l'Univers lui-même (15 à 20 milliards d'années). Les quasars permettent donc d'observer un Univers "plus jeune" que celui qui nous entoure. De plus, leur luminosité (puissance totale rayonnée) est extrêmement grande et peut atteindre 1000 fois celle d'une galaxie typique. C'est ainsi qu'en dépit de leur éloignement, ils restent accessibles à l'observation. Récemment, les techniques modernes de traitement des images ont permis de montrer qu'un quasar apparaît généralement entouré d'une faible nébulosité, attribuée à l'émission d'une galaxie ordinaire dont le quasar occupe le centre. Ces résultats confirment l'hypothèse d'une continuité entre les galaxies dont le noyau est très brillant et les quasars; ces derniers correspondent simplement à une plus grande activité du noyau relativement au reste de la galaxie. Les phénomènes qui aboutissent à la production de la gigantesque luminosité observée restent pour une grande part mystérieux, même si, parmi tous les scénarios proposés, certains apparaissent plus vraisemblables que d'autres, tel celui invoquant l'existence d'un trou noir massif entouré d'un disque dont il accrète la matière. Nous laisserons de côté les propriétés des quasars relatives à leur émission radio, variabilité, à la polarisation du rayonnement émis... (on pourra se reporter pour cela à l'article de S. Collin N° 7 des CC) pour nous intéresser par la suite davantage à ce que peuvent nous révéler ces objets sur l'espace qui nous en sépare, qu'à leurs caractéristiques propres.

La présence de raies d'absorption dans le spectre des étoiles de notre galaxie est un phénomène très commun et observé depuis longtemps. Parfois les raies se forment dans l'atmosphère même de l'étoile ; c'est le cas en particulier pour les raies de Fraunhofer présentes dans le spectre solaire. Mais l'absorption peut également être due à des nuages de gaz interstellaire situés par hasard sur la ligne de visée, l'étoile jouant alors le rôle d'une sonde vis à vis du milieu traversé. Ainsi dans le voisinage solaire l'étude spectroscopique de quelques étoiles choisies parmi les plus lumineuses (ζ Ophiucus, ζ Persei...) a permis de préciser les propriétés de la matière gazeuse locale (état d'ionisation du gaz, densité, température ...). A l'échelle de l'Univers les quasars peuvent être utilisés

de façon identique, leur spectre apportant alors des informations sur les objets intersectés par la ligne de visée : galaxies, nuages de gaz intergalactiques ou associés à la galaxie qui contient le quasar.

C'est en 1966 que la présence de fines raies sombres a été remarquée pour la première fois par Burbidge dans le spectre du quasar 3C191 (il s'agit d'une radio-source, la 191ème du 3ème catalogue de Cambridge). Jusqu'à maintenant seules des raies brillantes - dites d'émission - avaient été observées. Pour illustrer notre discussion nous allons décrire le spectre du quasar Q1331+170 (cette notation rapelle en abrégé les coordonnées de l'objet : $\alpha = 13h 31mn$, $\delta = 17,0^\circ$), obtenu en 1982 par Young, Sargent et Boksenberg (figure 1).

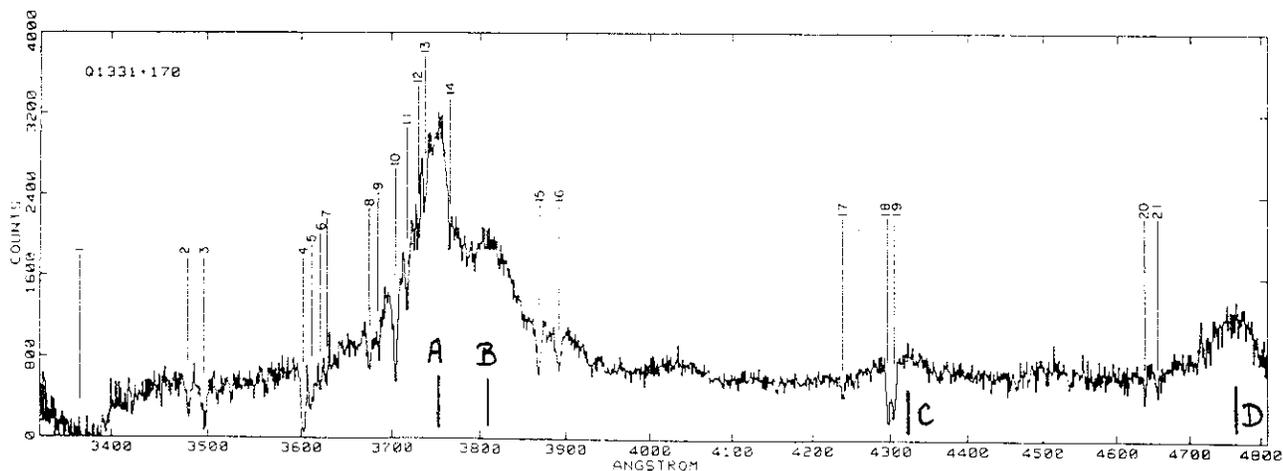


Fig.1: spectre du quasar Q1331+170

On peut y distinguer quatre raies en émission, notées A, B, C, D centrées aux longueurs d'onde $\lambda_A = 3747\text{\AA}$, $\lambda_B = 3819\text{\AA}$, $\lambda_C = 4319\text{\AA}$, $\lambda_D = 4765\text{\AA}$ (à environ 3\AA près)

A l'époque de la découverte des quasars, l'identification de ces raies posait un problème car les longueurs d'onde mentionnées ne correspondent pas à des transitions connues au laboratoire. Compte tenu de nos connaissances en physique atomique, il n'est pas difficile de prédire la séquence de raies susceptibles d'apparaître en émission qui est la suivante (nous indiquons l'espèce concernée et la longueur d'onde en Angström) :

Espèce	$\lambda_0(\text{\AA})$	Espèce	$\lambda_0(\text{\AA})$
H	1215 (Ly α)	Mg ⁺	2800
N ⁴⁺	1240	H	4861 (H β)
Si ³⁺	1399	O ²⁺	4959
C ³⁺	1549	O ²⁺	5007
C ²⁺	1909	H	6562 (H α)

C'est Schmidt qui, en 1965, réalisa qu'en fait cette séquence était effectivement présente dans les spectres observés mais notablement décalée vers le rouge. Ainsi, contrairement aux habitudes héritées du travail en laboratoire ou

de l'astronomie galactique, la longueur d'onde à laquelle apparait une raie ne permet plus à elle seule l'identification de la transition mise en jeu dans le cas des quasars. En revanche les rapports des longueurs d'onde pour deux raies distinctes (par exemple celle d'un doublet, paire de raies très voisines d'un même élément) restent inchangés puisque

$$\lambda_1 / \lambda_2 = \lambda_{01} (1+Z) / \lambda_{02} (1+Z) = \lambda_{01} / \lambda_{02}$$

Ce sont donc des rapports de ce type qui constituent la signature permettant l'identification des transitions et par suite la détermination du décalage Z. Deux raies au minimum sont nécessaires ; si une troisième (ou davantage) est observée, elle fournit une vérification. Pour les deux raies les plus nettes (A et D) du quasar Q1331+170, le rapport λ_D / λ_A égale 1.272, valeur qui correspond au rapport 1549 / 1215 des raies de C⁴⁺ et de H (Lyman α). Le redshift de Q1331+170 est donc donné par :

$$1 + Z = \lambda_A / 1215 = \lambda_D / 1549 \text{ soit } Z = 2,08.$$

Il est ensuite facile de vérifier cette détermination en cherchant à identifier les autres raies B et C. La table précédente laisse prévoir deux raies entre A et D; celle de N⁴⁺ à $\lambda = 1240 * 3,08 = 3819 \text{ \AA}$ et de Si³⁺ à $\lambda = 1399 * 3,08 = 4309 \text{ \AA}$ ce qui correspond bien, aux incertitudes de mesure près, aux raies B et C.

Comme on peut le voir sur la figure 1 de nombreuses raies d'absorption beaucoup plus étroites que les précédentes, sont également présentes. Leur présence traduit le fait qu'une fraction de la lumière émise par le QSO est prélevée par des nuages gazeux situés quelque part sur la ligne de visée et ce, à des longueurs bien précises, déterminées à la fois par la nature des atomes ou ions mis en jeu et par le décalage des nuages qui les contiennent. Les auteurs ont dénombré en tout 21 raies et donnent la longueur d'onde mesurée pour chacune d'entre elles (l'incertitude est de l'ordre de 0,2 \AA):

N°	$\lambda (\text{\AA})$	N°	$\lambda (\text{\AA})$	N°	$\lambda (\text{\AA})$
1	3370,5	8	3676,3	15	3869,6
2	3481,2	9	3686,2	16	3893,0
3	3497,8	10	3705,0	17	4239,8
4	3603,5	11	3718,4	18	4298,5
5	3613,0	12	3730,7	19	4305,6
6	3622,5	13	3738,3	20	4639,4
7	3628,5	14	3766,5	21	4656,5

De la même façon que précédemment nous dressons ci-dessous la liste des raies qu'on peut raisonnablement attendre en absorption dans le domaine ultraviolet, compte tenu de l'abondance relative des éléments et des probabilités de transition mesurées au laboratoire. Comme, cette fois, les raies sont intrinsèquement fines, il est nécessaire de distinguer des raies voisines

appartenant par exemple à un même doublet (dans la table des raies en émission nous les avons confondues car elles ne pouvaient être observées séparément).

Espèce	$\lambda_0(\text{Å})$	Espèce	$\lambda_0(\text{Å})$
H	1215,7	Al ⁺	1670,8
N ⁴⁺	1238,8	Al ²⁺	1854,7
N ⁴⁺	1242,8	Al ²⁺	1862,8
Si ⁺	1260,4	Fe ⁺	2344,2
Si ⁺	1304,4	Fe ⁺	2374,5
O	1304,9	Fe ⁺	2382,8
C ⁺	1334,5	Fe ⁺	2586,6
Si ³⁺	1393,8	Fe ⁺	2600,2
Si ³⁺	1402,8	Mg ⁺	2796,3
Si ⁺	1526,7	Mg ⁺	2803,5
C ³⁺	1548,2	Mg	2853,0
C ³⁺	1550,8		

Toutes ces raies appartiennent au domaine ultraviolet. Le domaine visible est, quant à lui, beaucoup moins riche en transitions facilement détectables et présente principalement deux doublets, ceux de Ca⁺ dans le bleu (à 3934,8 et 3969,6 Å) et de Na dans le rouge (à 5889,9 et 5895,9 Å). Cela provient de ce que a) dans les conditions physiques rencontrées au sein des nuages, les ions sont quasiment tous dans leur état fondamental et b) pour la plupart des espèces l'écart d'énergie entre le fondamental et le niveau supérieur voisin est supérieur à 4eV ce qui correspond à une longueur d'onde inférieure à 3100 Å (limite pour l'observation au sol; en deçà, l'atmosphère cesse d'être transparente)

Une démarche identique à celle utilisée pour les raies d'émission peut maintenant être appliquée pour identifier les raies d'absorption. Dans la suite on appellera système de raies un ensemble de raies de divers éléments correspondant à un même décalage et donc à un même nuage absorbant. Notre but est de déterminer ceux qui apparaissent dans le spectre de Q1331+170 ainsi que leur redshift. Par rapport aux raies d'émission, le travail est facilité dans la mesure où maintenant, on peut choisir comme couple de raies celles d'un même doublet, pour autant que la résolution instrumentale permette de les séparer (c'est le cas pour Q1331+170 et pour les doublets mentionnés dans la table). Par contre, une complication peut survenir si plusieurs objets absorbants sont présents (mais avec des décalages distincts) sur la ligne de visée : plusieurs systèmes se chevaucheront alors, rendant plus difficile les identifications.

Pour notre exemple, commençant par les raies 18 et 19 qui appartiennent vraisemblablement à un même doublet, le rapport $\lambda_{19} / \lambda_{18}$

=1,00165 approche bien la valeur $1550,8 / 1548,2 = 1,00168$ du doublet de C^{3+} . Le redshift correspondant vaut $Z_a = 1,776$. La recherche des autres raies de ce système confirme son redshift et fournit l'identification des N° 1,3,5,6,10,15,16,17 et 20. Voici les résultats présentés par les auteurs :

N°	Identification	Z_a	N°	Identification	Z_a
1	H (1215)	1,7726	16	Si ³⁺ (1402)	1,7752
3	Si ⁺ (1260)	1,7751	17	Si ⁺ (1526)	1,7771
5	O (1302)	1,7746	18	C ³⁺ (1548)	1,7765
6	Si ⁺ (1304)	1,7772	19	C ³⁺ (1550)	1,7764
10	C ⁺ (1334)	1,7762	20	Al ⁺ (1670)	1,7768
15	Si ³⁺ (1393)	1,7764			

Ainsi dans notre exemple un seul système a été trouvé. Nous reviendrons dans la suite de cet article sur les raies qui demeurent non identifiées. Nous proposons maintenant un second exemple (emprunté aux mêmes auteurs déjà cités) et soumettons à la perspicacité du lecteur l'identification des raies dans le spectre du quasar Q1209+107 (figure 2):

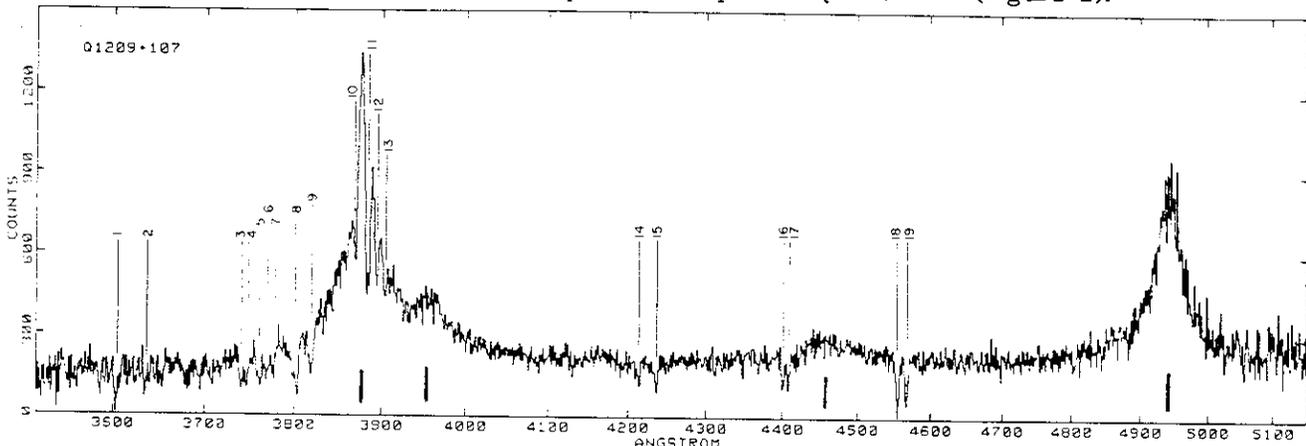


Fig.2: spectre du quasar Q1209+107

Quatre raies en émission, centrées à 3879, 3962, 4459 et 4942 Å sont visibles. Voici la liste des longueurs d'onde pour les 19 raies d'absorption détectées :

N°	λ (Å)	N°	λ (Å)	N°	λ (Å)
1	3604,6	8	3802,6	15	4237,0
2	3636,5	9	3819,8	16	4402,1
3	3742,3	10	3869,6	17	4409,3
4	3748,1	11	3884,0	18	4556,2
5	3761,6	12	3895,3	19	4568,1
6	3769,4	13	3905,1		
7	3777,5	14	4214,9		

Dans le prochain numéro, une solution sera proposée ainsi qu'une discussion concernant l'origine des systèmes de raies en général.

(A suivre)

PATRICK BOISSÉ

Après trois cents ans ... (2)

Après nous être un peu attardés sur les chemins d'approche, arrivons-en aux circonstances de la découverte ou, si l'on préfère, de la conception de l'attraction universelle. Même dans l'histoire des idées, il faut tenir compte des circonstances. Les théories sont des abstractions, des constructions de l'esprit. Mais que ce soit le cerveau d'un Newton, d'un Evariste Galois ou d'un élève de Sixième qui conçoive, c'est toujours un assemblage de neurones qui fonctionne et ce bon fonctionnement des connexions dépend d'une bonne nourriture, d'un air respirable et d'un environnement pas trop défavorable. Dans le cas de Newton, le virus de la peste et l'abondance des pommiers dans la campagne du Lincolnshire semblent avoir conjugué leurs effets bénéfiques.

La grande peste

Isaac Newton était donc né le 25 décembre 1642 (l'année de la mort de Galilée) dans une ferme du Lincolnshire appelée le Manoir de Woolsthorpe. Le père d'Isaac venait de mourir, lui aussi, et le nouveau-né, tout chétif, ne s'annonçait pas comme un bien honorable héritier. Cependant, dès l'âge scolaire, le garçon montra des dispositions particulières en construisant la maquette d'un moulin à vent ou encore en réalisant une clepsydre. Les maîtres qui lui donnèrent sa première instruction reconnurent qu'il fallait l'envoyer à l'université. En 1661, il partit pour Cambridge où il fut admis à Trinity College.

Durant ses premières années universitaires, il suivit les cours d'Isaac Barrow (1630-1677) qui occupait la chaire "lucasienne" (fondée par Henry Lucas et que devait occuper Newton après Barrow). Il fut aussi influencé par les travaux de Wallis qui, lui, enseignait à Oxford. Barrow très réticent devant le formalisme algébrique au contraire de Wallis, mais l'étudiant Newton eut une bonne influence sur le trop conservateur Barrow qui comprit à quel étudiant pas ordinaire il avait affaire. ET il engagea vivement Newton à poursuivre des études mathématiques. En 1665, Newton obtenait son diplôme de Bachelor of Arts. L'époque de la formation scientifique de Newton est donc celle des Wallis, Barrow en Angleterre, Gregory en Ecosse, Mercator au Danemark - il développe en série $\ln(1+x)$ -, l'époque où Huygens, aux Pays-Bas, perfectionne les horloges. En France, après la grande époque des Descartes, Fermat, Desargues et Pascal, c'est le temps d'un La Hire qui s'intéresse à la cinématique.

C'est alors que des circonstances sans aucun rapport avec les mathématiques vont déranger la vie du jeune Newton. La grande peste décime la population de Londres. Par prudence l'université est mise en congé, les étudiants sont renvoyés dans leurs familles. Newton va vivre dix-huit mois de solitude à Woolsthorpe, dix-huit mois qui furent peut-être les plus importants de sa vie. C'est d'ailleurs ce qu'il en pensait lui-même puisque, beaucoup plus tard, faisant le bilan de ses travaux, il déclarait (et je le laisse ici s'exprimer dans sa langue) :

"All this was in the two plague years of 1665 and 1666, for in those days I was in the prime of my age for invention, and minded mathematics and philosophy more than any time since."

Newton fut toujours avare de confidences sur sa personne ou sur la genèse de ses idées. Est-ce en jouissant de la paix des champs que la chute des pommes lui inspira ses idées sur la gravitation ? La légende le veut, étayée par le récit qu'en fait Voltaire dans la Quinzième de ses Lettres Philosophiques. Relisons ce passage, fort bien venu en vérité :

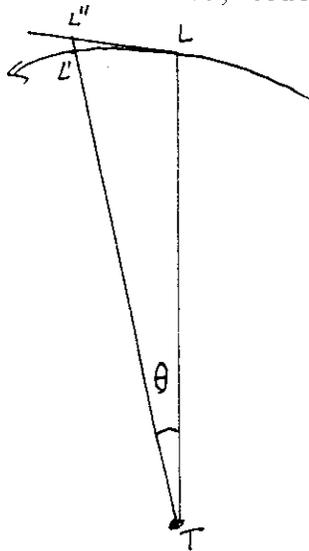
"Newton se dit à lui-même : "De quelque hauteur dans notre hémisphère que tombassent ces corps, leur chute serait certainement dans la progression

découverte par Galilée ; et les espaces parcourus par eux seraient comme les carrés des temps. Ce pouvoir qui fait descendre les corps graves, est le même sans aucune diminution sensible à quelque profondeur qu'on soit dans la Terre, et sur la plus haute montagne. Pourquoi ce pouvoir ne s'étendrait-il pas jusqu'à la Lune ? Et s'il est vrai qu'il pénètre jusque là, n'y a-t-il pas grande apparence que ce pouvoir la retient sur son orbite et détermine son mouvement ? Mais si la Lune obéit à ce principe quel qu'il soit, n'est-ce pas encore très raisonnable de croire que les autres planètes y sont également soumises ?

Si ce pouvoir existe, il doit (ce qui est prouvé par ailleurs) augmenter en raison renversée des carrés des distances. Il n'y a donc plus qu'à examiner le chemin que ferait un corps grave en tombant sur la Terre d'une hauteur médiocre, et le chemin que ferait dans le même temps un corps qui tomberait de l'orbite de la Lune. Pour en être instruit, il ne s'agit plus que d'avoir la mesure de la Terre et la distance de la Lune à la Terre."

Oui, texte bien venu, mais attention, c'est Voltaire qui prête ces paroles à Newton. Celui-ci se serait sans doute gardé de toute allusion à la variation (même peu sensible) de la gravité selon la profondeur dans la Terre ou selon l'altitude. De plus, avant de généraliser la loi aux planètes, Newton voulait une vérification précise et complète pour la Lune ce qui exigeait, comme on le verra, bien d'autres travaux. Mais, ces précautions dites, Voltaire nous fait imaginer le jeune Newton se promenant seul dans le verger de Woolthorpe et illuminé tout d'un coup par cette grande idée : la chute des graves à la surface de la Terre, le mouvement de la Lune sur son orbite autour de la Terre sont deux manifestations du même phénomène.

VERIFICATION SOMMAIRE : vous pouvez imaginer Newton la griffonnant sur sa manchette, tout en marchant sous les pommiers. En une seconde de temps la Lune parcourt un arc dont la mesure en radian est



$$\theta = \frac{2\pi}{27,322 \times 86400}$$

Si la Lune n'était pas attirée par la Terre, elle serait en L'' sur la tangente en L à son orbite ; en fait elle est en L' ; elle est donc "tombée" vers la Terre de L''L'

$$L''L' = 2 TL \frac{\sin^2 \theta / 2}{\cos \theta} \quad \text{soit } L''L' \approx 2 TL \theta^2 / 4 \approx 1,36 \text{ mm}$$

Cette chute n'est certes pas vertigineuse mais il faut la comparer avec celle de la pomme dans le même temps soit 4,9 m ; le rapport des deux chutes est $4,9 / 0,00136 = 3602,94$ qui est très peu différent du carré de soixante : la pomme avant de tomber (et même après) était bien soixante fois plus près du centre de la Terre que la Lune. Conclusion (dans la tête de Newton), c'est la même force qui fait tomber la pomme et qui fait graviter la Lune autour

de la Terre et cette force est une attraction inversement proportionnelle au carré des distances des objets au centre de la Terre.

La découverte est là. Newton pourtant n'en dit rien. Vous pouvez penser que c'est tout simplement parce que personne, à Woolthorpe, ne s'intéresse à la chute des pomme comparée à l'orbite lunaire. On a aussi prétendu qu'il ne pouvait le faire, car il ne connaissait pas une bonne valeur du rayon de la Terre. Il est vrai que le travail de Picard sur la méridienne de France ne put lui être connu avant 1680 ; mais reconnaissez que le calcul griffonné sur la manchette n'exige pas une connaissance raffinée du rayon de la Terre. Notre jeune savant avait des raisons autrement fortes pour retarder toute publication.

Il y avait, en premier lieu, l'idée d'assimiler l'attraction de la Terre sur la Lune, - phénomène céleste -, à l'attraction de la Terre sur la pomme, - phénomène terrestre. Accepter cette assimilation, c'est un "premier pas" autrement important que celui d'Armstrong sur la Lune, un premier pas qui signifie tout simplement IL N'Y A QU'UNE PHYSIQUE. Ou encore, les lois de la physique sont universelles. En fait, c'est l'axiome sur lequel est construite toute notre connaissance de l'Univers. Il heurte le sens commun : tout le monde croit voir que la Lune ne tombe pas. Surtout, en cette fin du XVII^{ème} siècle, l'affaire Galilée n'est pas si loin, l'idée d'une physique céleste n'obéissant pas aux mêmes lois que la physique terrestre est encore très répandue. L'expérience courante, sur Terre, est celle de mouvements entretenus par une action motrice ; dans le système solaire auquel se limite à peu près l'astronomie, les mouvements obéissent aux mystérieuses lois de Kepler, l'action motrice qui anime ces mouvements est inconnue.

Affirmer l'universalité de la physique, c'était donc affronter un gros problème. Le jeune Newton peut avoir craint de se battre pour ses idées et jamais il n'eut de goût pour la polémique.

Il y avait aussi une autre raison, de caractère plus technique celle-là. Dans le calcul rappelé plus haut, l'attraction de toute la Terre sur la pomme ou sur la Lune est remplacée par l'attraction de toute la masse de la Terre supposée réunie au centre de la sphère. Ce qui est correct et présente l'avantage pratique de beaucoup simplifier le calcul. Mais, en 1665, Newton n'a pas encore démontré que c'est correct. Il faudra attendre 1669 pour qu'il soumette à Isaac Barrow son ouvrage De Analysis qui le munit d'une méthode permettant, entre autres résultats, de prouver ce point délicat de la théorie. C'est ce qu'il appelle la méthode des fluxions et des séries infinies, ce que l'on désignera plus tard sous le nom de calcul différentiel et intégral.

Heureuses rencontres

Bref, Newton est retourné à Cambridge en 1667, enrichi des grandes idées qu'il garde pour lui-même, consacrant d'abord toutes ses réflexions à ce calcul des fluxions dont il comprend l'immense portée. En 1668, il reprend la chaire lucasienne d'Isaac Barrow ; à 26 ans, il est professeur de mathématiques en titre. Cependant, les premiers travaux qui le rendent célèbre concernent l'optique, décomposition et recombinaison de la lumière "blanche", construction du premier télescope à miroir qui lui vaut son admission à la Royal Society. The Royal Society for the Promotion of Natural Knowledge fondée par le roi Charles II en 1660 fut dès son origine ouverte aux idées nouvelles alors que la jeune Académie des Sciences de Paris montra souvent par la suite une moindre aptitude à favoriser les progrès de la connaissance.

La question du mouvement des planètes continuait à préoccuper maints savants de la Royal Society. Lorsque Halley, au retour de l'expédition qui l'avait mené à Ste Hélène pour observer le ciel austral, rencontre Robert Hooke et Christopher Wren, il entend le premier énoncer une loi d'attraction inversement proportionnelle aux carrés des distances. Mais Hooke ne peut prouver ce qu'il avance. Halley a la bonne idée d'aller consulter Newton sur le sujet. "Quelle serait l'orbite d'une planète attirée par le Soleil selon une loi de gravitation inversement proportionnelle au carré de la distance ?" lui demande-t-il. Newton lui aurait répondu "Je vais vous le dire, mais j'ai un calcul à finir, allez commencer à déjeuner sans moi, je vous rejoins..." Il serait revenu, en effet, trente minutes plus tard et voyant que Halley avait presque fini son repas, "Suis-je distrait aurait dit Newton j'oubliais que j'avais déjà déjeuné. Je vais répondre à votre question."

Quelques semaines plus tard, Newton donne l'essentiel de ses idées dans un petit livre *De Motu Corporum* ("du mouvement des corps") qui est comme une version abrégée des *Principia*. Halley est aussitôt persuadé qu'il faut tout faire pour obtenir de Newton la rédaction complète de son oeuvre. Le premier il a compris son importance, on sait qu'il ira jusqu'à subventionner lui-même l'édition. Le premier volume fut déposé à la Royal Society en avril 1686, la publication complète achevée en 1687.

Retour aux définitions

Après ce long détour sur les circonstances historiques de la publication, revenons au texte des *Principia*. Aux définitions citées dans notre première partie (CC34, p.16) par lesquelles Newton précise le sens "des termes qui ne sont pas communément usités", il ajoute, dans une scholie d'une dizaine de pages, son analyse ~~des~~ notions de temps et d'espace. Pour éviter toute confusion, dit-il,

"Il faut distinguer le temps, l'espace, le lieu, et le mouvement, en absolus et relatifs, vrais et apparents, mathématiques et vulgaires.

I. LE TEMPS "Le temps absolu, vrai et mathématique, sans relation à rien d'extérieur, coule uniformément, & s'appelle durée. Le temps relatif, apparent & vulgaire, est cette mesure sensible & externe d'une partie de durée quelconque (égale ou inégale) prise du mouvement ; telles sont les mesures d'heures, de jours, de mois, etc dont on se sert ordinairement à la place du temps vrai....

... On distingue en astronomie le temps absolu du temps relatif par l'équation du temps. Car les jours naturels sont inégaux, quoiqu'on les prenne communément pour une mesure égale du temps ; & les Astronomes corrigent cette inégalité, afin de mesurer les mouvements célestes par un temps plus exact. Il est possible qu'il n'y ait point de mouvement parfaitement égal, qui puisse servir de mesure exacte du temps ; car tous les mouvements peuvent être accélérés et retardés, mais le temps absolu doit toujours couler de la même manière."

II. L'ESPACE "L'espace absolu, sans relation aux choses externes, demeure toujours similaire & immobile.

L'espace relatif est cette mesure ou dimension mobile de l'espace absolu, laquelle tombe sous nos sens par sa relation aux corps, & que le vulgaire confond avec l'espace immobile. C'est ainsi, par exemple, qu'un espace, pris au dedans de la terre ou dans le ciel, est déterminé par la situation qu'il a à l'égard de la terre.

L'espace absolu & l'espace relatif sont les mêmes d'espèce & de grandeur ; mais ils ne le sont pas toujours de nombre ; car, par exemple, lorsque la terre change de place dans l'espace, l'espace qui contient notre air demeure le même par rapport à la terre, quoique l'air occupe nécessairement les différentes parties de l'espace dans lequel il passe, & qu'il en change réellement sans cesse."

III. LE LIEU "Le lieu est la partie de l'espace occupée par un corps, & par rapport à l'espace, il est relatif ou absolu.

Je dis que le lieu est une partie de l'espace, & non pas simplement la situation du corps, ou la surface qui l'entoure : car les solides égaux ont toujours des lieux égaux, quoique leurs superficies soient souvent inégales, à cause de la dissemblance de leurs formes ; les situations, à parler exactement, n'ont point de quantité, ce sont plutôt des affections des lieux, que des lieux proprement dits.

De même que le mouvement ou la translation du tout hors de son lieu est la somme des mouvements ou des translations des parties hors du leur ainsi le lieu du tout est la somme des lieux de toutes les parties, & ce lieu doit être interne, & être dans tout le corps entier."

IV. LE MOUVEMENT Le mouvement absolu est la translation des corps d'un lieu absolu dans un autre lieu absolu, & le mouvement relatif est la translation d'un lieu relatif dans un autre lieu relatif ; ainsi dans un vaisseau poussé par le vent, le lieu relatif d'un corps est la partie du vaisseau dans laquelle ce corps se trouve, ou l'espace qu'il occupe dans la cavité du vaisseau ; & cet espace se meut avec le vaisseau ; & le repos relatif de ce corps est la permanence dans la même partie de la cavité du vaisseau. Mais le repos vrai du corps est sa permanence dans la partie de l'espace immobile, où l'on suppose que se meut le vaisseau & tout ce qu'il contient. Ainsi, si la terre était en repos, le corps qui est dans un repos relatif dans le vaisseau aurait un mouvement vrai & absolu, dont la vitesse serait égale à celle qui emporte le vaisseau sur la surface de la terre ; mais la terre se mouvant dans l'espace, le mouvement vrai & absolu de ce corps est composé du mouvement vrai de la terre dans l'espace immobile, & du mouvement relatif du vaisseau sur la surface de la terre ; & si le corps avait un mouvement relatif dans le vaisseau, son mouvement vrai et absolu serait composé de son mouvement relatif dans le vaisseau, du mouvement relatif du vaisseau sur la terre, & du mouvement vrai de la terre dans l'espace absolu. Quant au mouvement relatif de ce corps sur la terre, il serait formé dans ce cas de son mouvement relatif dans le vaisseau, & du mouvement relatif du vaisseau sur la terre. En sorte que si la partie de la terre où se trouve ce vaisseau avait un mouvement vrai vers l'orient, avec une vitesse divisée en 10100 parties : que le vaisseau fût emporté vers l'occident avec 10 parties de cette vitesse ; & que le Pilote se promenât dans le vaisseau vers l'orient, avec une partie de cette même vitesse : ce Pilote aurait un mouvement réel et absolu dans l'espace immobile, avec 10001 parties de vitesse vers l'orient, & un mouvement relatif sur la terre vers l'occident avec 9 parties de cette vitesse."

Newton est un mathématicien de son temps, donc nourri d'Euclide. L'espace absolu et immobile qu'il conçoit est l'espace euclidien. Pour y fonder sa physique, il y adjoint un temps absolu que nous reconnâtrons dans la variable t des équations du mouvement. Il a une bien jolie expression pour le dire :

*"Tout est dans le temps, quant à l'ordre de la succession ;
Tout est dans l'espace, quant à l'ordre de la situation. C'est
là ce qui détermine leur essence."*

Toutes les difficultés ne sont pas pour autant aplanies :

"Il faut avouer qu'il est très difficile de connaître les mouvements vrais de chaque corps, & de les distinguer actuellement des mouvements apparents, parce que les parties de l'espace immobile dans lesquelles s'exécutent les mouvements vrais, ne tombent pas sous nos sens. Cependant il ne faut pas en désespérer entièrement ; car on peut se servir, pour y parvenir, tant des mouvements apparents, qui sont les différences des mouvements vrais, que des forces qui sont les causes & les effets des mouvements vrais.

..... On fera voir plus amplement dans la suite comment les mouvements vrais peuvent se connaître par leurs causes, leurs effets, & leurs différences apparentes, & comment on peut connaître au contraire par les mouvements vrais ou apparents leurs causes et leurs effets, & c'est principalement dans cette vue qu'on a composé cet ouvrage."

(à suivre)

K.Mizar

N.D.L.R. - Si, sur la figure p.31, la tangente au cercle LL" n'est pas perpendiculaire au rayon du cercle TL, c'est que Newton avait dessiné sur sa manchette...

FLUCTUATIONS DU LEVER ET DU COUCHER DE LA LUNE

Introduction

L'observateur attentif constate facilement que la Lune passe chaque jour au méridien avec un certain retard par rapport à la veille et que ce retard présente une certaine régularité. Par contre, la simple lecture d'un almanach des Postes montre que le lever et le coucher de la Lune sont beaucoup plus fantaisistes : à certaines époques, la Lune se lève (ou se couche) pratiquement à la même heure, tandis qu'à d'autres moments de l'année, l'écart de deux levers (ou de deux couchers) consécutifs atteint presque une heure et demie. L'explication de ces fluctuations est cependant relativement simple, à partir de quelques données numériques fournies par l'observation et de quelques formules d'usage courant en astronomie élémentaire.

1. Révolution synodique et passages au méridien

La révolution synodique de la Lune est l'intervalle moyen de deux conjonctions successives de la Lune et du Soleil (nouvelles Lunes). On peut calculer sa durée connaissant les époques d'éclipses de Soleil séparées par de très longs intervalles de temps. La valeur actuellement admise est la suivante :

$$\theta = 29,530\ 588\ 1 \text{ jours solaires moyens} = 29 \text{ j } 12 \text{ h } 44\text{m } 02,81 \text{ s}$$

C'est la lunaison, qui règle les phases de la Lune et le retour des éclipses et qui constitue le mois des anciens calendriers lunaires. La Lune s'écartant progressivement du Soleil vers l'Est, la durée du jour lunaire, intervalle de deux passages consécutifs de la Lune au méridien, est plus longue que celle du jour solaire. En d'autres termes, la Lune passe au méridien chaque jour sensiblement plus tard que la veille. Ce retard total atteignant un jour entier au bout d'une lunaison, un mois lunaire renferme un jour lunaire de moins qu'il ne compte de jours solaires ; autrement dit, 28,5305881 jours lunaires ont même durée que 29,5305881 jours solaires. Par suite :

$$1 \text{ jour lunaire} = \frac{29,5305881}{28,5305881} = 1,035\ 050\ 101 \text{ j} = 1 \text{ j } 0 \text{ h } 50 \text{ m } 28,32 \text{ s}$$

Le passage de la Lune au méridien se produit donc chaque jour avec un retard moyen de 50 minutes sur la veille ; mais l'ascension droite de la Lune ne croissant pas uniformément, le retard vrai peut différer de la valeur moyenne d'un quart d'heure en plus ou en moins.

Les heures du passage au méridien de Paris sont données, pour chaque jour de l'année par les Ephémérides du Bureau des Longitudes (elles ne figurent pas dans l'almanach des Postes) ; on peut en déduire très facilement les heures du passage au méridien d'un autre lieu, avec une assez bonne précision.

2. Lever et coucher de la Lune

Pour calculer l'instant du lever ou du coucher d'un astre dont on suppose connues les coordonnées équatoriales approchées et au moment du phénomène considéré, on peut estimer d'abord l'angle horaire H au moment du phénomène considéré par la formule simplifiée :

$$(1) \cos H = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta, \text{ où } \varphi \text{ désigne la latitude géographique du lieu.}$$

Le temps sidéral approché est alors, pour le lever :

$$(2a) T = \alpha - H$$

et pour le coucher :

$$(2b) T = \alpha + H$$

A partir de là, on trouve l'instant du phénomène en temps universel (UT), comme on le montrera plus loin sur un exemple particulier.

Si l'on veut plus de précision, on utilisera la formule :

$$(3) \quad \cos H = \frac{\sin h_0 - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}$$

Quand l'astre se déplace rapidement sur la sphère céleste, comme c'est le cas pour la Lune, on calcule pour l'instant trouvé des coordonnées équatoriales plus approchées en interpolant les tables, puis on calcule à nouveau H et T comme ci-dessus. D'où l'heure du phénomène en UT. Pour la Lune, il peut être nécessaire d'effectuer une itération supplémentaire, en raison de l'ampleur de son mouvement apparent. Signalons, en passant, que ce mouvement est facile à constater en prenant les étoiles comme repères. A la lunette, on voit littéralement la Lune se mouvoir devant elles, occultant celles qui se trouvent sur sa route. Elle se déplace de 30' environ en une heure dans le champ des étoiles alors que son diamètre apparent est de 31'. On ne peut donc pas négliger ce déplacement et traiter la Lune comme une étoile fixe dans les calculs dont il est question ici.

Indiquons que le terme h_0 de la formule (3) est une expression complexe:

$$h_0 = P - R - 1/2 d - \eta_1 + \eta_2$$

où P est la parallaxe, que l'on prend égale à 57' pour la Lune, et R la réfraction à l'horizon à laquelle on attribue la valeur $R = 34'$ adoptée par la Marine. Le terme $1/2 d$ est le demi diamètre apparent de l'astre ($1/2 d = 16'$) ; on ne l'introduit dans le calcul que lorsqu'on veut connaître le lever ou le coucher du bord supérieur. Dans ce qui suit, comme d'ailleurs dans les almanachs et les Ephémérides, on ne s'intéresse qu'au centre de l'astre ; on négligera donc d. On ne tiendra pas davantage compte des termes η_1 et η_2 qui se réfèrent respectivement à l'altitude du lieu d'observation et à son éloignement de certains obstacles à l'horizon (collines, etc..)

En résumé, nous prendrons :

$$h_0 = P - R = 57' - 34' = 23'$$

Il existe des tables numériques qui donnent immédiatement les arcs semi-diurnes et les corrections de parallaxe et de réfraction (Cf A. Danjon in Astronomie générale) ; et ne parlons pas des calculatrices et des ordinateurs qui renseignent instantanément leurs utilisateurs sur la position de n'importe quel astre de la voûte céleste à chaque instant. Mais c'est la magie de l'électronique !

3. Fluctuations du lever et du coucher de la Lune

Les variations du retard du lever ou du coucher de la Lune résultent des variations de sa déclinaison. Lorsque celle-ci est rapidement croissante, on peut voir la Lune se lever, plusieurs jours de suite, presque à la même heure, avec un retard qui, sous nos latitudes, s'abaisse à quelques minutes seulement : c'est ce qu'on peut observer le soir, en août et en septembre, par exemple, entre la pleine lune et le premier quartier. Au contraire, aux époques où la déclinaison de la Lune est rapidement décroissante, son lever peut retarder, d'un jour à l'autre d'environ une heure et demie. Voici quelques exemples extraits des Ephémérides pour 1985 :

	Lever (UT)		Différence	Déclinaison (à 0hUT)
	h	mn		
(14 janvier	0	25	1h 21 mn	- 6° 51'
(15 " "	1	46	1h 22 mn	- 12° 45'
(16 " "	3	08		- 17° 53'
(12 juin	1	08	14 MN	+ 0° 40'
(13 " "	1	22	15 mn	+ 6° 02'
(14 " "	1	37		+ 11° 12'
(3 août	21	04	15 mn	- 13° 34'
(4 " "	21	19	14 mn	- 8° 13'
(5 " "	21	33		- 2° 39'
(1 septembre	19	38	14 mn	- 4° 24'
(2 " "	19	52	15 mn	+ 1° 14'
(3 " "	20	07		+ 6° 45'

Pendant la première période (janvier), la déclinaison décroît rapidement tandis que pendant les autres périodes citées en exemple elle croît rapidement.

4. Un exemple : calcul du lever de la Lune à Paris le 03/10/85

Les données numériques utiles sont empruntées aux Ephémérides du Bureau des Longitudes pour 1985. Les calculs sont exécutés à la machine (TI 59), l'usage des tables de logarithmes est d'une autre époque !

Formules

$$\cos H = \frac{\sin h_0 - \sin \varphi \sin \delta'}{\cos \varphi \cos \delta'}$$

$$h_0 = P - R = 57' - 34' = 23'$$

$$T = \alpha - H \text{ (temps sidéral local)}$$

$$T_\lambda = T + \lambda \text{ (temps sidéral correspondant, à Greenwich)}$$

$$T_t = T_\lambda - T_0 \text{ (} T_0 \text{ temps sidéral de Greenwich à 0 h UT)}$$

Données $\varphi = 48^\circ 50'$; $\lambda = 9 \text{ m } 21 \text{ s}$ (Paris)

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= 3 \text{ h } 22 \text{ m } 22 \text{ s} \\ \delta' &= 19^\circ 50' \end{aligned} \right\} \text{ coordonnées équatoriales de la Lune à 0 h UT e le 03/10/85}$$

$$T_0 = 0 \text{ h } 46 \text{ m } 34 \text{ s} \text{ Temps sidéral de Greenwich à 0hUT le 03/10/85}$$

Calculs

Première approximation : à partir des données indiquées, on trouve :

$$H = 113^\circ 40' 59'' = 7 \text{ h } 34 \text{ m } 44 \text{ s} \quad T = 19 \text{ h } 47 \text{ m } 38 \text{ s}$$

$$T_\lambda = 19 \text{ h } 38 \text{ m } 17 \text{ s} \quad T_t = 18 \text{ h } 05 \text{ m } 43 \text{ s}$$

En convertissant cette valeur en temps moyen, on obtient enfin :

$$t = 18 \text{ h } 48 \text{ m } 37 \text{ s} \text{ (UT)}$$

(Remarque : mesure en temps moyen = mesure en temps sidéral x 0,9972696)

Deuxième approximation : on calcule par interpolation les valeurs de α , δ' et T à l'instant t déterminé ci-dessus, à partir du tableau fourni par les Ephémérides :

à 0h (UT)	$\alpha = 3 \text{ h } 22 \text{ m } 22 \text{ s}$	$\delta' = 19^\circ 50'$	$T_0 = 0 \text{ h } 46 \text{ m } 34 \text{ s}$	le 03/10
	$\alpha = 4 \text{ h } 10 \text{ m } 55 \text{ s}$	$\delta' = 23^\circ 24'$	$T_0 = 0 \text{ h } 50 \text{ m } 31 \text{ s}$	le 04/10

On trouve : $\alpha = 4h\ 00m\ 25s$; $\delta = 22^\circ 37'$; $T = 0h\ 49m\ 39s$; d'où comme pour la première approximation :

$$H = 118^\circ\ 29'\ 17'' = 7h\ 53m\ 57s \quad T = 20h\ 06m\ 28s$$

$$T_\lambda = 19h\ 57m\ 07s \quad T_t = 19h\ 07m\ 28s$$

et enfin

$$t = 19h\ 04m\ 20s \text{ (UT)}$$

Troisième approximation : en interpolant à nouveau, à partir de $t = 19h$, on obtient :

$$\alpha = 4h\ 00m\ 48s \quad ; \quad \delta = 22^\circ\ 39' \quad ; \quad T_o = 0h\ 49m\ 39s$$

D'où : $H = 117^\circ\ 47'\ 17'' = 7h\ 51m\ 09s \quad T = 20h\ 09m\ 39s$

$$T_\lambda = 20h\ 00m\ 18s \quad T_t = 19h\ 10m\ 39s$$

Soit enfin $t = 19h\ 07m\ 30s \approx 19h\ 08m \text{ (UT)}$

Or, la valeur donnée par les Ephémérides est $t = 19h\ 09m$. Comme la valeur exacte du phénomène ne peut être connue avec une précision supérieure à une minute, en raison de la difficulté d'appréciation de la réfraction à l'horizon, on peut considérer que le résultat du calcul est tout à fait correct. C'est la magie du calcul !

Nice, le 3 octobre 1985

Paul Perbost

mettez votre planétaire à jour

Longitudes héliocentriques moyennes des planètes au premier janvier 1987 :

Mercure $258^\circ,7$ - Vénus $134^\circ,1$ - Mars $35^\circ,9$ - Jupiter $358^\circ,1$

Saturne $253^\circ,0$ - Uranus $262^\circ,8$ - Neptune $275^\circ,6$

LISEZ BIEN VOTRE CALENDRIER

Le premier janvier 1987 grégorien (qui s'écrit aussi 19870101 correspond au 19 décembre 1986 julien, au 29 Rabi'-out-Tani 1407 musulman, au 30 Kislev 5747 israélite, au 23 Keihak 1703 copte. Vous n'oubliez certainement pas que le 1 Vendémiaire 196 aura lieu le 23 septembre 1987.

Notre ami Maurice Carmagnole vous fait remarquer :

$$1987 = 5^2 + 21^2 + 29^2 = 3^2 + 4^2 + 21^2 + 39^2 = 9^2 + 12^2 + 15^2 + 24^2 + 31^2 = \dots$$

ce qui lui paraît banal ; il a aussi trouvé, ce qui l'est moins, 1987 comme somme de 19 nombres premiers consécutifs :

$$1987 = 61 + 67 + 71 + 73 + 79 + 83 + 89 + 97 + 101 + 103 + 107 + 109 + 113 + 127 + 131 + 137 + 139 + 149 + 151$$

Enfin il a été surpris de constater que 1, 9, 8 et 7 sont les racines d'un polynôme :

$$x^4 - 25x^3 + 215x^2 - 695x + 504$$

qui admet un minimum pour $x = 2,71806\dots$ soit le nombre e au millième près ; ce qui conduit Maurice à cette conclusion : "1987, l'année qui faillit être transcendante !"

RENCONTRES CELESTES

Les 4 clichés montrent quelques passages de la planète Vénus au voisinage de l'amas des Pléïades dans la Constellation du Taureau.

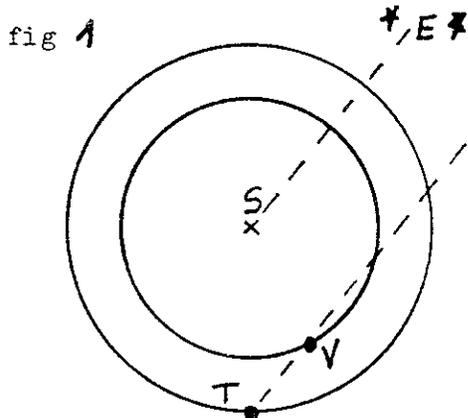
Cliché 1: le 3 avril 1980 à 20h TU.

Clichés 2 et 3: 13 et 16 avril à 20h30 TU. (en 1983).

Cliché 4: le 4 juillet 1985 à 3h TU.

Il m'a semblé intéressant de connaître la fréquence de ces "rencontres célestes". Même s'il ne s'agit que d'apparences...

1. Vénus, le Soleil et la Terre (V, S, T)



Pour simplifier, on peut considérer que les trajectoires planétaires sont des cercles dans un même plan et parcourus chacun à vitesse constante.

Les périodes de révolution sont:
224,701 j pour V et 365,256 j pour T.

Sur la figure 1, nous voyons V se projeter sur un champ d'étoiles E. En raison des distances considérables qui nous séparent des étoiles, la droite TV est parallèle à SE et TV "perce" le ciel en E !

Mais T et V tournent autour de S et nous retrouverons la même configuration lorsque chaque planète aura effectué un nombre entier de révolutions.

En désignant respectivement par A et B ces nombres pour T et V il faut résoudre:
 $365,256 \cdot A = 224,701 \cdot B$

Pour éviter les valeurs trop élevées on choisit les couples A et B qui réalisent à peu près cette égalité!

Les valeurs de A donnent les périodicités du phénomène exprimées en années.

On trouve: A = 8; B = 13

La période de 8 ans ramène donc approximativement Vénus en face de la même Constellation et dans les mêmes conditions et j'attends impatiemment le 3 avril 1988 pour comparer avec le cliché 1!...

Autres solutions plus précises: A = 243 et B = 395
A = 721 et B = 1172

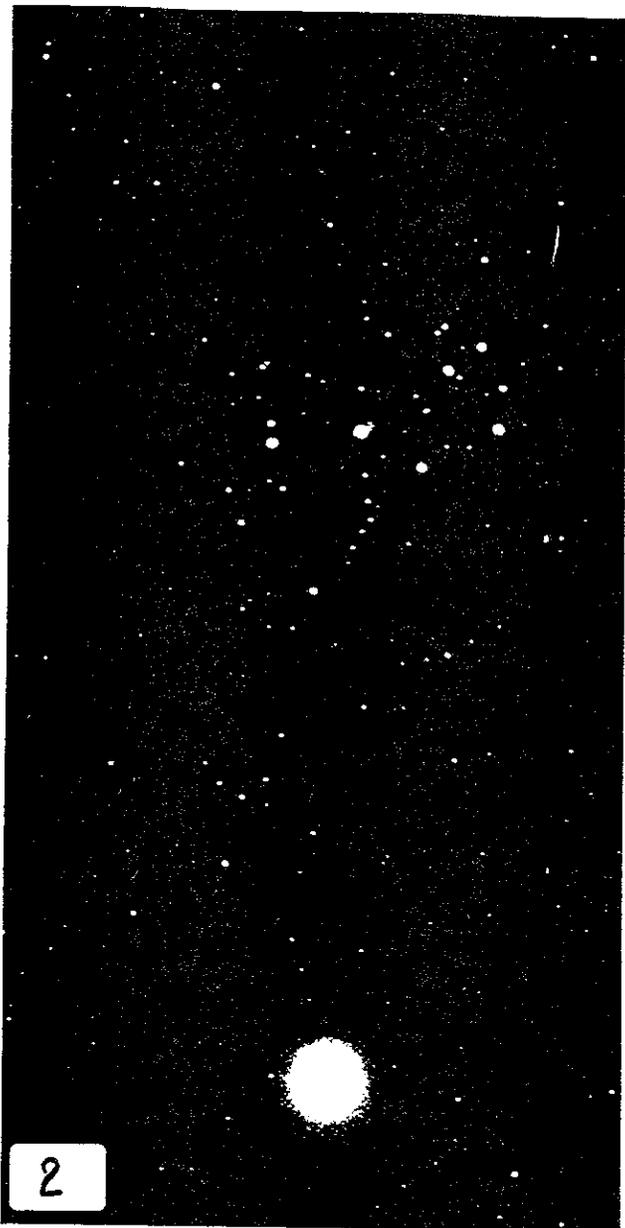
Je n'attendrais pas! Les périodes 243 ans et 721 ans peuvent intéresser l'historien. Autre solution encore plus précise: A = 55995 ans et B = 91021 mais à ce niveau ... c'est de l'archéoastronomie!

Les solutions précédentes ont été trouvées à partir des propriétés des fractions continues:

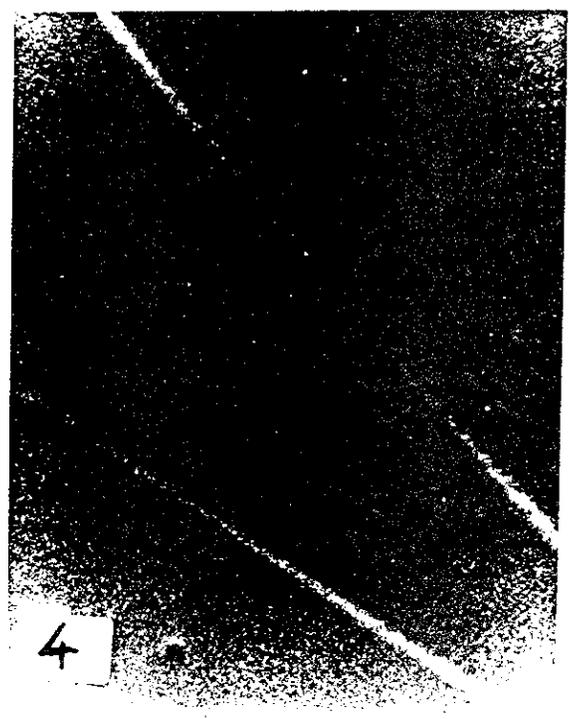
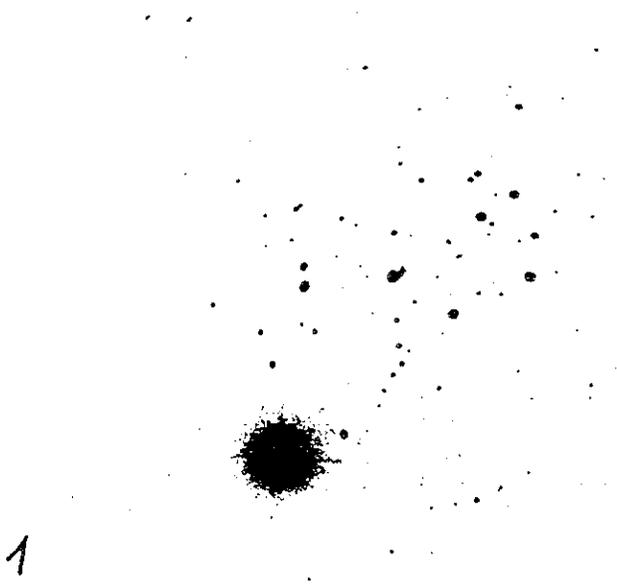
$$\begin{aligned} \text{exemple: } \frac{B}{A} &= \frac{365,256}{224,701} = 1 + \frac{140,555}{224,701} = 1 + \frac{1}{\frac{224,701}{140,555}} = \\ &= 1 + \frac{1}{1 + \frac{84,146}{140,555}} = \dots = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{56,409}}}}} \end{aligned}$$

en arrondissant à ce niveau:

$$\frac{B}{A} \approx 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{2}}}} = \frac{13}{8} \quad \text{donc le couple } A=8 \text{ et } B=13$$



Clichés 1,2,3 : JP ROSENSTIEHL
Cliché 4' : J. THIEBAUT

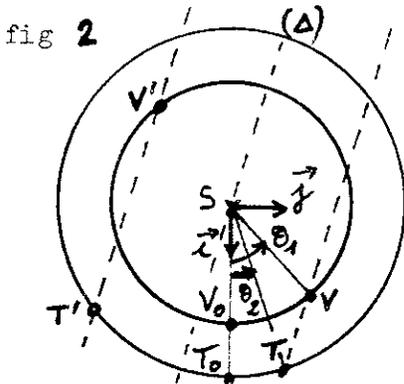


Le lecteur pourra continuer les calculs et retrouver les résultats précédents et voir s'ils sont exacts...

2. Vénus dans les Pléiades :

La fréquence des passages de V devant une même Constellation est en réalité plus importante si on n'impose pas de condition aussi restrictive que ci-dessus (à savoir mêmes positions relatives au Soleil.

Soient T_0 et V_0 les positions au moment d'une conjonction inférieure à l'instant $t = 0$ et T et V celles à l'instant t (figure 2).



Les angles "balayés" seront:

$$\begin{cases} \theta_1 = 360 \frac{t}{224,701} \\ \theta_2 = 360 \frac{t}{365,256} \end{cases}$$

Soit $\Delta // TV$. Ainsi V sera devant la même Constellation à chaque fois que TV sera parallèle à Δ , par exemple dans les positions T' et V' .

Il faut donc exprimer le fait que la droite TV garde une orientation fixe dans l'espace (rapporté aux étoiles...fixes!) grâce au repère S, \vec{i}, \vec{j} (de Copernic).

Ecrivons que le coefficient directeur de la droite TV est constant.

a_1 et a_2 étant les rayons des orbites, les coordonnées de T et V sont

$$T (a_2 \cos \theta_2 ; a_2 \sin \theta_2) \quad V (a_1 \cos \theta_1 ; a_1 \sin \theta_1)$$

$$\text{ainsi} \quad \frac{a_2 \sin \theta_2 - a_1 \sin \theta_1}{a_2 \cos \theta_2 - a_1 \cos \theta_1} = K$$

Calcul de K: Grâce au cliché 1 pris le 3 avril 1980 on détermine la durée écoulée depuis la dernière conjonction inférieure. Celle-ci ayant eu lieu le 7 novembre 1978 il s'est écoulé $t = 513$ jours.

On obtient $\theta_1 = 821,892^\circ$ soit $101,892^\circ$ et $\theta_2 = 505,618^\circ$ soit $145,618^\circ$.

Avec $a_2 = 1$ UA et $a_1 = 0,72333$ UA on obtient $K = 0,211613$

Ensuite pour trouver toutes les dates de passages de Vénus devant les Pléiades on résoud:

$$\frac{\sin\left(360 \frac{t}{365,256}\right) - 0,72333 \sin\left(360 \frac{t}{224,701}\right)}{\cos\left(360 \frac{t}{365,256}\right) - 0,72333 \cos\left(360 \frac{t}{224,701}\right)} = 0,2116$$

... ce qui est possible à l'aide d'une calculette ou d'un microordinateur en quelques minutes.

Remarque: Le lecteur des CC qui sait résoudre directement la relation ci-dessus est prié de m'envoyer sa solution (merci d'avance...)

Pour ma part, j'ai utilisé le programme de tâtonnement dont le listing est le suivant:

```

5 REM*****
6 REM*
7 REM*   VENUS DANS LES PLEIADES   *
8 REM*
9 REM*****
10 A=0.723333:K=0.211613
20 FOR T=0 TO 4500
30 U=2*PI*T/365.256:V=2*PI*T/224.701
40 X=SIN(U)-A*SIN(V)
50 Y=COS(U)-A*COS(V)
60 Z=X/Y
70 IF Z<K+0.02 AND Z>K-0.02 GOTO 90
80 NEXT T
90 IF COS(U)<0 GOTO 110
100 NEXT T
110 P=T+2443820
120 G=INT((P-1867216.25)/36524.25)
130 F=P+1+G-INT(G/4)
140 B=F+1524
150 C=INT((B-122.1)/365.25)
160 D=INT(365.25*C)
170 E=INT((B-D)/30.6001)
180 DD=B-D-INT(30.6001*E)
190 IF E<13.5 THEN MM=E-1:GOTO210
200 MM=E-13
210 IFMM>2.5 THEN AA=C-4716:GOTO230
220 AA=C-4716
230 PRINTAA,MM,DD,T:PRINT
240 NEXT T

```

t	date	élong	Visibilité
0	7 Nov 78	0	—
215	10 juin 79	19,7°	M
513 _x	3 avril 80	46°	S
915	10 Mai 81	10°	S
1324	23 juin 82	34°	M
1617 _x	13 avril 83	38°	S
2026	25 mai 84	5°	M
2431 _x	4 juillet 85	45°	M
2726	25 avril 86	25°	S
3136	9 juin 87	20°	M
3435	3 avril 88	46°	S
3836	9 mai 89	10°	S
4246	23 juin 90	34°	M

Les résultats obtenus à droite du listing ont été complétés par les calculs des élongations (angle TS,TV) et l'indication des conditions de visibilité M pour le matin et S pour le soir.

On retrouve en particulier la période de 8 ans du paragraphe 1.

Les observateurs du soir sont favorisés en avril et ceux du matin en juin-juillet.

Jean-Paul ROSENSTIEHL
Club Astro Université LE MANS

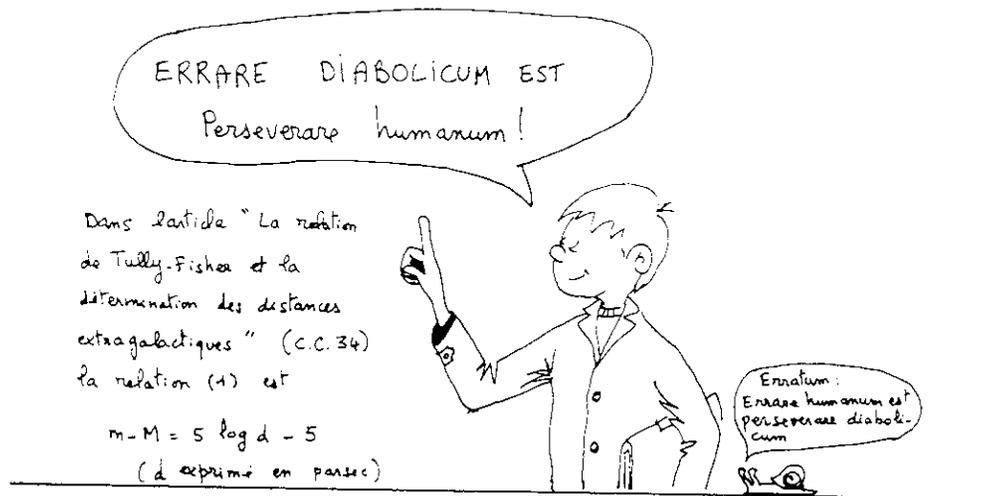
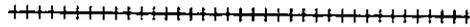
FORMIGUERES, vous connaissez ?

Formiguères est un village du Capcir, cette haute vallée de l'Aude qui est séparée de la Cerdagne, au Sud, par le col de la Perche où se situe Mont Louis. Dans les fortifications de Vauban qui enserrant cette petite ville a été installé le premier four solaire.

L'altitude de Formiguères est 1400 m, la latitude 47,35 gr, la longitude Ouest 0,23 gr.

On peut donc dire qu'il est midi en même temps à Londres et à Formiguères. Il y a pourtant entre ces deux villes une différence astronomique qui saute aux yeux : l'Observatoire de Greenwich est pratiquement désaffecté pour n'être plus qu'un musée alors que du 24 aout 2 septembre 1987 la onzième université d'été du CLEA se tiendra à Formiguères, y installera ses instruments et ses ateliers,...

LE COURRIER DES LECTEURS



Observations sous l'équateur

Notre Collègue André Nahon, IPN à Libreville au Gabon nous écrit qu'il a découvert les Cahiers Clairaut en 1985. Il a voulu profiter du retour de la comète et il nous envoie des échos de son travail. Libreville est pratiquement sous l'équateur, un lieu d'observation remarquable par conséquent. La population des enseignants de sciences physiques est très hétérogène et les connaissances de base en astronomie assez réduites. Le retour de la comète a motivé de nombreux enseignants qui ont pu l'observer à l'œil nu du 10 au 17 avril et suivre son déplacement parmi les étoiles.

Orléans

Eric Varanne nous donne de bonnes nouvelles de l'AEAAC l'association qu'il anime et qui édite sa propre revue "Le Point de Lagrange". Elle, l'association, ou il, Eric, (le "ou" n'est pas forcément disjonctif) organise un stage les 26, 27 et 28 novembre 1986 en pleine forêt d'Orléans et dans le cadre de l'action culturelle du CRDP. Deux autres stages de 24 heures proposés par l'IREM auront lieu en février et mars 1987. Un autre stage départemental sera animé par Eric Varanne et Gérard Hess animateur des astronomes du Gâtinais. L'AEAAC a déjà animé un stage d'une semaine pour dix-huit débutants à la fin août 86. Enfin, la municipalité de St Jean de la Ruelle organise une semaine culturelle sur l'astronomie du 6 au 14 novembre 1986 avec l'aide de l'AEAAC.

Saint-Etienne

Dans le cadre du Centre Municipal d'Action Culturelle, P. Huyard s'est aidé des Cahiers pour une animation sur l'astronomie. Il utilise un planétarium Goto EX 3 sous une coupole gonflable. Il édite un bulletin d'information astronomique Astrotef.

Strasbourg

Jean-Marie Poncelet, de l'équipe du planétarium et de l'université d'été du Col de Steige prépare un montage sur l'astronomie de la fameuse horloge astronomique de la cathédrale. Les lecteurs des Cahiers espèrent bien en lire des échos prochainement.

STage ANSTJ

==== Nous avons reçu trop tard pour l'annoncer le programme du stage technique organisé par l'Association Sciences Techniques Jeunesse à Chamaloc du 25 octobre au 2 novembre 86. L'ANSTJ édite un "Guide de la Culture scientifique technique et industrielle", prix 65 F + 12 F de frais d'envoi par exemplaire. S'adresser à ANSTJ 17 av Gambetta, 91130 RIS ORANGIS.

Wittelsheim

==== Le club astronomique de Wittelsheim (Haut-Rhin) organisait pour le 29 novembre 86 une journée d'animation pour les jeunes sur le thème "face au Soleil". Journée qui devait être l'aboutissement de travaux scolaires entrepris depuis des semaines par quatre mille jeunes de 6 à 22 ans.

La chronique du CLEA

La onzième université d'été d'astronomie - 1987

==== Dans le Cahier 34, Lucinne Gouguenheim dressait un bilan des dix universités d'été organisées par le CLEA depuis 1977. Bilan très positif mais assombri par une note d'inquiétude devant les difficultés rencontrées pour l'organisation, les aides officielles se faisant de plus en plus rares ou étant complètement supprimées. Nous sommes pourtant convaincus qu'une formation continue des enseignants dans le cadre d'une étroite coopération entre chercheurs et pédagogues est profitable à tous ; l'expérience des dix années passées le prouve, l'attrait de la formule pour les centaines de stagiaires qui en ont profité le confirme. Bref, malgré les difficultés rencontrées...

La onzième université d'été d'astronomie aura lieu du 24 août au 2 septembre 1987 à Formiguères, dans les Pyrénées Orientales, près de Montlouis. Le prix de séjour en pension complète au Centre "Le Picpéric" sera de l'ordre de 170 F/j. Comme chaque année l'organisation comprendra un enseignement théorique et un enseignement pratique.

Toute demande d'inscription est à adresser sans tarder à Melle Lucienne Gouguenheim, DERADN Observatoire de Meudon, 92195 MEUDON CEDEX. Les demandes seont prises en considération dans l'ordre d'arrivée.

Une semaine sous le ciel des Vosges

==== ~~Pour~~ La troisième année, l'équipe du Planétarium de Strasbourg organise une école d'été d'astronomie qui aura lieu dans la première semaine de juillet, dans les chalets du FEC au col de Steige. Inscription : écrire à Mme Agnès Acker, Observatoire de Strasbourg, 11 rue de l'Université, 67000 STRASBOURG.

La complainte du trésorier

==== En automne, nos arbres perdent leurs feuilles. Les Cahiers Clairaut perdent aussi des abonnés oublieux ou négligents. Tous les abonnés ont pourtant reçu, fin juin, le Cahier 33 qui était le premier de la neuvième année et qui les avertissait : si vous n'avez pas déjà renouvelé votre abonnement, faites-le sans tarder sinon vous ne recevrez pas le Cahier 34 (automne 86). C'était écrit sur une feuille jaune, à la page 32 du Cahier d'été.

Les plaisirs des examens de fin d'année scolaire ou les fatigues des jeux de plage expliquent sans doute beaucoup d'oublis. Finalement, en octobre, le trésorier a dû envoyer 480 lettres de rappel à des retardataires. Ce qui représente, pour lui, en plus du plaisir de coller autant de timbres, un certain nombre d'heures prises sur ses occupations inutiles, ludiques et préférées. cependant, il aurait tort de se plaindre. Si certaines de ces lettres restent sans réponse (ce qui le déçoit), les mots d'amitié qui accompagnent beaucoup de chèques l'en consolent amplement. Nos amis expliquent pourquoi ils ont oublié, ce sont toujours de bonnes raisons. Il faut reconnaître que notre système d'abonnement est hors du commun : d'un

numéro $4n - 3$ au numéro $4n$ pour la n -ième année (nous en sommes à $n = 9$). La formule est mathématiquement simple mais mal adaptée au calendrier scolaire (que celui-ci porte la marque d'un réformateur pressé ou d'un garagiste expert). Du fait de notre lancement en cours d'année civile 78, le renouvellement échoit au printemps alors que la fatigue d'une année scolaire se fait sentir, que des examens troublent la vie sociale ou familiale, qu'il faut penser aux vacances ou à l'université d'été d'astronomie (le "ou" n'étant alors pas disjonctif).

Conclusion : ne pas croire que ces questions d'intendance soient ennuyeuses ou superflues. Nous avons la faiblesse de penser que les Cahiers Clairaut doivent poursuivre leur petit bonhomme de chemin. Ces difficultés pratiques engagent à des réflexions que le trésorier réserve pour l'assemblée générale du CLEA du 25 janvier 1987. Pour leur dixième année, les Cahiers Clairaut peuvent bien avoir des projets, c'est de leur âge.

Cosmos, an educational challenge

Sur ce thème, le Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique (GIREP) a tenu une session du 18 au 23 août 1986 à Elsinore (40 km au nord de Copenhague). Le GIREP existe depuis 1966 ; il a pour but de promouvoir et d'encourager tous les efforts en vue d'adapter la physique enseignée dans les collèges et les lycées au niveau des connaissances actuelles ; il publie des bulletins et tient session tous les deux ou trois ans (exemple, 1981 sur l'atome, 1984 sur la mécanique). La conférence d'Elsinore a réuni 130 participants dont quatre Français. Marie-France Duval, de l'Observatoire de Marseille, a représenté le CLEA à cette session et nous en donne un écho :

"Au cours des séances plénières ont été traités des sujets tels que la formation des étoiles, la gravité, la cosmologie, la formation du système solaire, les rayons cosmiques et quelques expériences pédagogiques ont été relatées. Les exposés étaient dans l'ensemble d'un très bon niveau aussi bien pour le contenu que pour la présentation. Six sessions parallèles étaient consacrées à l'enseignement de l'astronomie en milieu scolaire (école primaire, secondaire, université) et à des expériences menées dans le cadre d'activités extrascolaires. Dans ces sessions, les participants se retrouvaient peu nombreux pour exposer de façon plus détaillée leurs expériences propres et en discuter mais il avaient l'impression de manquer tout ce qui se disait ailleurs. Un certain nombre de documents intéressants nous ont été proposés qui pourraient sans doute nous aider à enrichir nos cours, séances d'exercices et animations. En voici quelques exemples.

Pour expliquer les lois simples de la physique aux enfants de 12-14 ans, Dean Zollman (Kansas State University, Department of Physics, Cardwell Hall, Manhattan, Kansas 66506) a montré comment il utilisait des films vidéo pris dans Skylab. Un autre jour il fit une démonstration sur l'utilisation d'un vidéo disque pour un enseignement interactif d'astronomie. Chaque vidéo disque contient 50 000 images et huit vidéo disques existent déjà (7 dans la série "Space disc" et un appelé "Space Watch").

L'équipe d'Edimbourg (UK Schmidt Telescope Unit, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh EH9 3HJ Scotland) a proposé trois séries de documents comprenant chacun des films (reproduction des plaques de l'United Kingdom Schmidt situé en Australie) accompagnés de séries d'exercices avec les corrections : niveau étudiants débutants (£60), département de pédagogie d'une université (£70) et niveau scolaire (£30). Le service photolabs de l'observatoire édite des dispositifs couleur, noir et blanc, des photographies et cartes postales en couleur.

Les Anglais ont par ailleurs donné une liste de toutes leurs productions. Parmi elles :

- les montages audiovisuels de Visual Publication qui édite aussi sur une multitude de sujets. Ces séries sont d'un prix très abordable (films £5.90, vassette £2.90) ;

