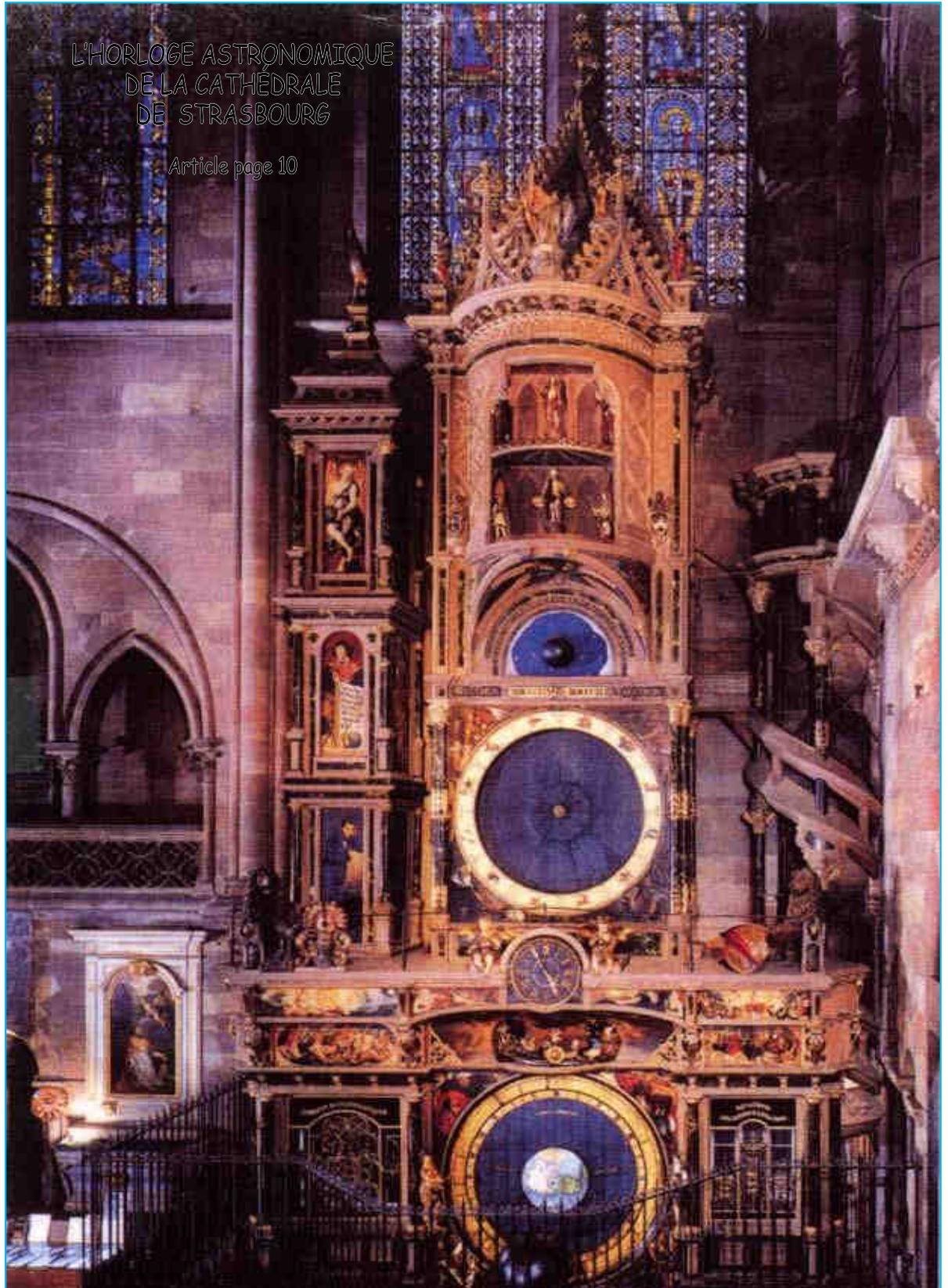


L'HORLOGE ASTRONOMIQUE  
DE LA CATHÉDRALE  
DE STRASBOURG

Article page 10



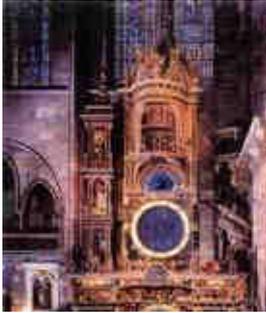
# Société Astronomique de Lyon

Bulletin N° 65 Avril 2008

## SOMMAIRE

**PAGE 3**  
**ÉDITORIAL**  
Le mot du Président  
Alain Brémond

**PAGE 4**  
Les notes de lecture  
de Daniel Sondaz



**COUVERTURE**  
L'Horloge astronomique  
de Strasbourg  
photo Jean Kipper  
  
**ARTICLE page 10**

**PAGE 8**  
Joseph-Jérôme  
**LEFRANÇOIS DELALANDE**  
Pierre Santschi



**PAGE 14**  
Les points de Lagrange  
(Joseph Louis de Lagrange 1736 - 1813)  
Louis Saïs

Rubrique pratique  
**PAGE : 15**  
Que peut-on attendre  
d'un appareil photo numérique  
compact (A.P.N.C.)  
en astrophotographie ?  
Bernard Della Nave



Photo  
Patrick  
Avet-L'Oiseau

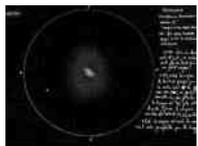
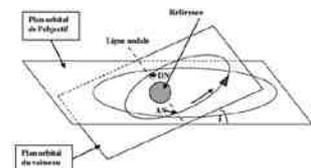
**PAGE 16**  
Week-end astronomique  
en Drôme provençale  
Collectif



**PAGE 17**  
La lumière zodiacale telle qu'observée  
dans la sud Marocain  
Bernard Chevalier



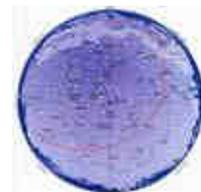
**PAGE 18**  
Promenons-nous (encore) dans l'espace  
François Udrea



**PAGE 20**  
Observation : zoom sur  
deux objets  
Patrick Avet-L'Oiseau et Christophe Gros

**PAGE 24**  
Le ciel du  
printemps  
Pierre Franckhauser

**PAGE 23**  
**GALERIE COULEUR :**  
**PHOTOS**



# SOCIÉTÉ ASTRONOMIQUE DE LYON



A succédé en 1931 à la Société  
Astronomique du Rhône, fondée en  
1906.

Siège Social : Observatoire, avenue  
Charles André

F 69230 Saint Genis-Laval

Tél. 06 74 42 26 29

e-mail : info@SoAsLyon.org

Internet : <http://soasLyon.org>

Trésorerie : C.C.P. Lyon 1822-69 5

Ont participé à la réalisation de ce  
bulletin :

Patrick AVET-L'OISEAU

Alain BRÉMOND

Juliette BRÉMOND

Bernard CHEVALIER

Bernard DELLA NAVE (B.D.N.)

Pierre FRANCKHAUSER

Christophe GROS

Jean KIPPER

Bernard REYNAUD

Louis SAÏS

Pierre SANTSCHI

Daniel SONDAZ

François UDREA

Merci à Jean CORNIER pour ses conseils  
techniques

Cotisation 2007/2008 :

37 €

Scolaire : 25 €

Famille : 52 €

Conférences : 5 €, gratuites pour les  
cotisants, et les habitants de Saint  
Genis-Laval

Réunions :

le vendredi, accueil de 21 h à 21 30

- Observations

- Bibliothèque

(prêt de livres et de vidéos)

- Discussions et activités

- Bulletin : destiné aux adhérents

Les articles que vous désirez faire

paraître dans le bulletin sont

à envoyer au siège de la Société

ou par e-mail [Sal@astrosurf.com](mailto:Sal@astrosurf.com).

ISSN 1258-5378

Impression CADEC

04 78 56 20 62

## ÉDITORIAL

### Le mot du Président

Alain Brémond



*Notre Société Astronomique de Lyon se porte bien. C'est bien sûr grâce aux initiatives de nombre de ses membres. C'est ainsi que nous participons aux activités initiées par l'Année Mondiale de l'Astronomie 2009 avec le projet Sidereus Nuncius autour des observations de Galilée. Nous avons été présents aussi sur le site de Fourvière pour l'équinoxe, invités par nos amis du C.A.L.A. Un voyage a été organisé à l'observatoire de Nançay. Les observations ne sont pas oubliées avec un grand week-end très réussi dans la Drôme, organisé par Bernard Chevalier. De nombreux projets sont en cours de préparation et vous serons proposés dans les mois qui viennent...*

*Ce nouveau bulletin, qui se veut le lien entre tous nos membres, ne peut certes remplacer les réunions plus conviviales du vendredi soir, mais sa richesse vous permet d'entrevoir toutes les facettes qu'apportent les diverses ressources de nos amis.*

*En tant que Président je souhaite une participation encore plus diverse ; aussi n'hésitez pas à nous envoyer des textes sur tous les sujets, oh combien divers, de notre passionnante Astronomie*

*Alain Brémond*

### CRÉDIT PHOTO

Couverture : photo J.Kipper

p. 8 : photo web

p. 9 : photos P. Santschi

p. 11, 12, 13 : photos J. Kipper

p. 16 : photos P. Avet-Loiseau

p. 16 : photos J. Brémond

p. 17 : photos B. Chevalier

p. 21 : photos web

p. 22 : dessins C. Gros

p. 23 : photos J. Brémond, photos B. Reynaud, photos B. D. N.

p. 24 : photos B. D. N., Guide du ciel Guide de Jean-Louis  
Heudier éd. France-Loisirs

LES NOTES DE LECTURE  
de Daniel SONDAZ

Le Verrier (1811-1877),  
le triomphe de la mécanique céleste

\* \* \* \* \*

A l'intention de nos lecteurs qui ne sont pas très familiers avec la mécanique céleste, donnons une brève, trop brève, introduction sur ce qu'est cette science. Très schématiquement, le but de la mécanique générale ou mécanique rationnelle est de résoudre le problème suivant : étant donné un système de corps matériels soumis à des forces données, déterminer le mouvement de ces corps (par rapport à un repère ad hoc). La mécanique céleste en est un cas particulier : on suppose que l'on a  $N$  corps soumis à la seule attraction universelle (deux corps s'attirent par une force dont l'intensité est proportionnelle à leurs masses et inversement proportionnelle au carré de leur distance mutuelle). Le cas  $N=2$  est très facile, du niveau d'un étudiant de première ou deuxième année de l'université ou d'un élève de math sup. Dès que l'on passe à  $N=3$ , le problème devient très difficile. La mécanique céleste étudie ce problème lorsque  $N$  n'est pas trop grand, c'est-à-dire essentiellement le cas du système solaire. Lorsque  $N$  est très grand, c'est le cas des amas stellaires ou des amas globulaires (plusieurs milliers à plusieurs centaines de milliers d'étoiles), c'est a fortiori le cas des galaxies (plusieurs milliards à plusieurs centaines de milliards d'étoiles), les méthodes de la mécanique rationnelle sont totalement inopérantes. Ces cas sortent du cadre de la mécanique céleste et relèvent de la dynamique stellaire dont les méthodes s'apparentent à celles de la mécanique statistique : on considère par exemple une galaxie comme un gaz dont les particules sont les étoiles de la galaxie en question.

Au XVIII<sup>ème</sup> siècle, tous les grands mathématiciens (dont les domaines d'étude étaient beaucoup moins spécialisés qu'ils ne le sont actuellement) travaillèrent sur des problèmes de mécanique céleste : Maclaurin, Euler, D'Alembert, Lagrange. Au XIX<sup>ème</sup> siècle, la mécanique céleste fut véritablement une reine parmi les sciences mathématiques-physiques ; il ne saurait être question d'énumérer tous les savants qui contribuèrent alors à son essor. Il y eut alors des spécialistes de la mécanique céleste tels Laplace à cheval sur les deux siècles (1749-1827), Delaunay (1816-1873) et Tisserand (1845-1896), tous deux auteurs de profonds travaux sur le sujet, ou encore Le Verrier dont nous allons parler. Même les mathématiciens que l'on qualifierait de nos jours de "purs" se penchèrent sur des problèmes de mécanique céleste, par exemple Cauchy (1789-1857), ou encore Gauss (1777-1855) dont les travaux concernent à la fois les mathématiques pures et appliquées et la physique. Le géant des mathématiques Henri Poincaré (1854-1912) fit des recherches très profondes en mécanique céleste. Elles sont à l'origine d'une branche très vivante des mathématiques actuelles, la

théorie des systèmes dynamiques qui intéresse aussi bien les mathématiciens purs (théorie des équations différentielles) que les mathématiciens appliqués (applications à la mécanique, à la biologie, à l'économie).

\* \* \* \* \*

Urbain Jean Joseph Le Verrier est né à Saint-Lô le 11 mars 1811, fils de Louis Baptiste Le Verrier et de Marie Jeanne Joséphine Pauline de Baudre. Pendant huit ans il est élève au collège de Saint-Lô, puis il entre au Collège Royal de Caen (1827-1830) et enfin au Collège Louis-le-Grand à Paris. En 1831 il est reçu 4<sup>ème</sup> au concours d'entrée à l'Ecole Polytechnique. Il en sort 8<sup>ème</sup> et opte pour le Corps des Manufactures de l'Etat; plus précisément il se retrouve ingénieur des tabacs (ce qui peut faire sourire de nos jours où le tabac n'a pas très bonne presse...). Il entre au laboratoire de chimie de Gay-Lussac où il travaille sur le phosphore d'hydrogène. Il postule, en même temps qu'Henri Victor Regnault, au poste de répétiteur de chimie à l'Ecole Polytechnique alors vacant. C'est Regnault qui aura le poste. On lui offre alors (1837) le poste de répétiteur en "géodésie, astronomie et machines" qu'il accepte. Le professeur titulaire de cet enseignement est Savary. Il entreprend aussitôt des travaux de mécanique céleste et, en 1839, il publie son premier mémoire sur les variations séculaires des orbites des planètes, suivi d'un second sur le même sujet. Il y montre que les excentricités et les inclinaisons des orbites des planètes resteront petites au cours du temps. Ces travaux se rattachent à l'étude de la stabilité du Système solaire. C'est Laplace qui avait obtenu les premiers résultats à ce sujet mais il s'agit d'un problème extrêmement difficile auquel s'attelèrent des mathématiciens de premier plan comme Poincaré, Birkhoff, Kolmogorov, Siegel, Moser. Il sera complètement résolu au début des années 1960 par un jeune mathématicien soviétique, Vladimir Arnold, devenu très célèbre depuis.

La septième planète du Système solaire, Uranus, avait été découverte par William Herschel. Son orbite observée présentait des irrégularités par rapport à son orbite prévue par la mécanique. On commence à soupçonner l'existence d'une huitième planète dont l'orbite serait au-delà de celle d'Uranus. Par exemple, l'astronome et mathématicien allemand Bessel écrit : "Je pense qu'un moment viendra où la solution du mystère d'Uranus sera peut-être bien fournie par une nouvelle planète." Arago, directeur de l'Observatoire de Paris, encourage Le Verrier à étudier ce problème. Le Verrier commence à travailler en 1844. Le 1<sup>er</sup> juin 1846 il annonce à l'Académie des sciences l'existence d'une planète dont l'orbite est au-delà de celle d'Uranus. Le 31 août 1846 il publie la masse, l'orbite et la position actuelle de cette planète. Le 23 septembre 1846 l'astronome berlinois Galle observe la planète en question à  $0^{\circ}52'$  de la position prévue par Le Verrier. Il lui écrit : "La planète dont vous avez signalé la position existe réellement." Le lecteur aura remarqué que le problème ainsi résolu par Le Verrier est différent

du problème standard de la mécanique céleste, à savoir déterminer l'orbite d'un corps connaissant les autres corps qui exercent des forces sur lui. Cette découverte eut un très grand retentissement. Les honneurs pleuvent sur Le Verrier. Les plus importantes sociétés savantes européennes lui décernent des récompenses prestigieuses. La Royal Society lui décerne la médaille Copley pour "un des plus grands triomphes de l'analyse moderne appliquée à la théorie de la gravitation." En 1846 une chaire de mécanique céleste est créée pour lui à la Faculté des sciences de Paris. Dès janvier 1846 (donc avant la publication de sa découverte) l'Académie des sciences lui avait ouvert ses portes. Il occupa le siège laissé vacant par la mort de Cassini et c'est le mathématicien Joseph Bertrand qui fit son éloge. C'est devant cette même Académie des sciences qu'Arago prononça sa phrase célèbre : "M. Le Verrier vit le nouvel astre au bout de sa plume." Cette planète sera nommée Neptune.

Un jeune et très habile astronome britannique, J. C. Adams (1819-1892), travaillant à Cambridge, avait fait un travail analogue à celui de Le Verrier et obtenu des résultats concordant avec les siens. Il avait communiqué ses travaux à Challis en septembre 1845 et à Airy en octobre 1845 mais ceux-ci les laissèrent dans un tiroir... Il est bien établi qu'Adams et Le Verrier ont travaillé indépendamment l'un de l'autre, chacun ignorant complètement ce que l'autre faisait.

Le Verrier est nommé astronome adjoint au Bureau des Longitudes, lequel n'est pas encore séparé de l'Observatoire. Le gouvernement de Louis-Philippe demande à Le Verrier d'élaborer un plan pour la recherche astronomique. Le plan est déposé en février 1847. Le Verrier espère que cela va lui permettre de prendre la place d'Arago à la tête de l'Observatoire. En vain, d'autant qu'après la démission de Louis-Philippe suite à la révolution de 1848, Arago devient ministre de la Guerre et de la Marine de la jeune II<sup>ème</sup> République. Le Verrier entame une carrière politique comme député de la Manche à l'Assemblée législative (1849). Il se range aux côtés du président Louis Napoléon. Après son coup d'Etat du 2 décembre 1851, celui-ci nomme Le Verrier sénateur (le 26 janvier 1852) et inspecteur général de l'enseignement supérieur. Après le rétablissement de l'Empire le 2 décembre 1852, Le Verrier restera un zélé partisan de Napoléon III. A la mort d'Arago, une commission dont fait partie Le Verrier propose de séparer le Bureau des Longitudes et l'Observatoire. Un décret du 30 janvier 1854 sépare les deux institutions et, le lendemain, Le Verrier est nommé directeur de l'Observatoire.

Le Verrier continue de travailler en mécanique céleste et il poursuivra ses recherches dans ce domaine jusqu'à sa mort. Il élabore une théorie du mouvement des planètes qui, pendant plus d'un siècle, servira au calcul des positions du Soleil et des planètes. Ceci constitue sûrement, avec sa découverte de Neptune, son apport le plus important à l'astronomie.

A propos de Mercure, Le Verrier a constaté un désaccord entre l'orbite observée et l'orbite calculée : le périhélie de Mercure présente une avance séculaire de 42 secondes d'arc que l'on ne sait pas expliquer. Il s'est intéressé à plu-

sieurs reprises à ce problème. Il a d'abord cru que la solution résidait dans l'existence d'un groupe d'astéroïdes entre Mercure et le Soleil. Des observateurs (Lescarbault en 1859, Wolff en 1876) auraient vu un disque noir passer devant le Soleil. Le Verrier en conclut que la solution provenait de l'existence d'une planète inconnue, Vulcain. Il prédit qu'elle passera devant le Soleil en 1877. Un autre astronome, D'Oppolzer, détermine l'orbite de cette planète et affirme qu'elle passera devant le Soleil en 1879. Ces passages ne seront pas observés. Et pour cause ! On sait que la solution sera apportée par la relativité générale dont l'avance du périhélie de Mercure constitue l'une des preuves observationnelles.

A la tête de l'Observatoire de Paris, Le Verrier en réorganise le matériel et le règlement. Il crée les Annales de l'Observatoire de Paris qui comprennent à la fois des Mémoires et des Observations. Il fait établir un catalogue de 306 étoiles fondamentales. Il organise sérieusement les observations méridiennes et dote l'Observatoire d'un grand cercle méridien en 1863. Il s'assure la collaboration de Léon Foucault pour construire de grands instruments. Foucault a été le premier à réaliser en 1857 un miroir de verre à surface argentée (un miroir de 33 cm) en utilisant un procédé inventé en 1855 par le chimiste allemand von Liebig. En 1862, l'Observatoire de Paris est en possession d'un télescope de 80 cm qui est le premier grand instrument doté d'un miroir de verre à surface argentée (auparavant les grands miroirs étaient en bronze). Le Verrier décide de l'installer dans le sud de la France où le ciel est plus favorable aux observations qu'à Paris. Il choisit le plateau de Longchamp à Marseille. L'observatoire du plateau de Longchamp est fondé en 1862.

A l'Observatoire de Paris existait un petit service météorologique. Le 14 novembre 1854, une violente tempête imprévue traverse l'Europe et cause le naufrage de 41 navires dans la Mer Noire dont le navire amiral français Henri IV. Le Verrier met en place un grand service météorologique. Il crée un réseau de 24 observatoires météorologiques sur le territoire français, puis il l'étend en 1865 à un réseau de 59 observatoires répartis sur toute l'Europe. A partir de 1858, le service météorologique publie un bulletin quotidien (pression atmosphérique, température, direction du vent). En cas de tempête, des télégrammes sont envoyés.

Si l'œuvre scientifique de Le Verrier est remarquable et incontestable, l'homme lui-même n'était pas très facile à vivre... A l'Observatoire de Paris, il ne voyait pas d'intérêt à d'autre recherche que la sienne et voulait réduire le personnel à un rôle d'exécutant. C'était un homme autoritaire et hautain qui déclara froidement devant l'Institut : " On ne doit pas livrer à la publicité les noms des aides astronomes qui font des découvertes, dont tout le mérite revient exclusivement au directeur sous les ordres duquel ils sont placés. " Sa conduite odieuse - vexations, suspensions arbitraires de traitement, renvoi d'astronomes installés par Arago - lui aliéna la

sympathie des astronomes. La presse elle-même se fait l'écho de ces problèmes : le journal *Le Temps* y consacre deux articles en mars 1868. En janvier 1870, quatorze astronomes de l'Observatoire de Paris démissionnent collectivement. Le Verrier est relevé de ses fonctions de directeur par un décret du 8 février 1870. Il est remplacé par Delaunay lui aussi spécialiste de mécanique céleste. Il est, entre autres, l'auteur d'une impressionnante théorie de la Lune, donnant les coordonnées de la Lune sous forme de près de 400 termes, représentant au total plus de 10 000 monômes dans les développements limités de ces termes en fonction de petits paramètres.

En 1873, après la mort de Delaunay, Le Verrier est rétabli dans ses fonctions. Il souffre d'une maladie pénible mais il continue néanmoins ses recherches et achève son travail sur le mouvement des planètes. La Royal Astronomical Society lui décerne, en 1876, sa médaille d'honneur. Il meurt le 23 septembre 1877, jour anniversaire de la découverte de Neptune par Galle. C'est Ossian Bonnet qui lui succède à la chaire de mécanique céleste de la Faculté des sciences de Paris.

Le Verrier avait épousé Marie Lucile Clotilde Choquet. Ils eurent deux fils, Louis Paul Urbain Le Verrier et Jean Charles Léon Le Verrier, tous deux entrés à Polytechnique et sortis dans le Corps des Mines.

\* \* \* \* \*

## JOSEPH-JÉRÔME LEFRANÇOIS DE LALANDE par Pierre SANTSCHI



1807 ... 2007, voici deux cents ans que disparaissait De Lalande, né le 11 juillet 1732 à Bourg-en-Bresse où il passa son enfance.

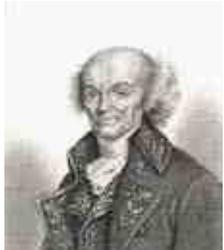


Photo web

Après des études secondaires à Bourg, puis à Lyon, ses parents l'envoient étudier le droit à Paris, il loge à l'hôtel de Cluny où Delisle avait installé un observatoire. C'est là qu'il commence sa formation d'astronome. Le goût pour cette science lui était venu depuis l'observation d'une éclipse de soleil à Lyon le 25 juillet 1748, commentée par son professeur.

Il suit assidûment les cours d'astronomie de Joseph-Nicolas Delisle puis de Pierre-Charles Le Monnier au Collège Royal (futur Collège de France). Après avoir obtenu son diplôme de droit, il retourne à Bourg-en-Bresse pour y exercer le métier d'avocat.

Mais Le Monnier, ayant remarqué ses qualités d'observateur et de calculateur, souhaite l'envoyer à Berlin pour mesurer la parallaxe lunaire, simultanément avec l'abbé de Lacaille, qui, au Cap, faisait les mêmes mesures (1751).

C'est le début d'une riche carrière d'astronome

et de mathématicien. Son séjour à Berlin le fait apprécier par l'Académie des Sciences où il est admis à l'âge de 21 ans. Par la suite il entre à l'Académie Royale des Sciences de Paris, de Londres et de Saint Petersburg.

Très attaché à son pays d'origine, il revient souvent à Bourg-en-Bresse où il fonde la Société d'Emulation de l'Ain (1755). Il écrit plusieurs ouvrages sur Bourg, sur la Bresse et le Bugey.

En 1764, il publie « l'Astronomie », véritable encyclopédie en trois volumes, qui sera rééditée en 1771 et 1792. En 1765, il fait un périple en Italie et il décrit son voyage sous de multiples facettes : histoire, géologie, géographie, politique ... Il s'intéresse aussi à la navigation intérieure, en particulier à la construction du Canal du Midi (projet dont l'origine remonte à la fin du seizième siècle !)

De Lalande, finalement, trouve que son « Astronomie » est trop « pointue », de diffusion restreinte et d'usage réservé à des astronomes ; aussi en 1774 et 1775, publie-t-il « l'Abrégé d'Astronomie. » En cela, c'est un précurseur de la vulgarisation des sciences qui a sans doute inspiré Camille Flammarion.

Dans un mémoire destiné à l'Académie des sciences, il fait part de ses calculs sur la trajectoire des comètes. Ces informations, mal diffusées et déformées

dans le public, ont occasionné un vent de panique. De Lalande a dû s'en expliquer dans la Gazette de France en mai 1773, pour remettre les choses au point. En 1781, William Herschel découvre la planète Uranus et de Lalande en calcule l'orbite.

S'accommodant de tous les régimes de la France, il est amené à créer le calendrier républicain, à la demande de la Convention.

Décidément touche-à-tout, de Lalande se distingue en philosophie et fait paraître, en 1805, un ouvrage faisant l'apologie de l'athéisme.

L'histoire de l'astronomie le passionne au point qu'il publie un énorme ouvrage sur le sujet où il cite tous les auteurs connus depuis 480 avant J.C. Ensuite il publie « l'histoire abrégée de l'astronomie (1781-1782). »

En 1761 et 1769, Vénus passe devant le soleil ; l'effervescence règne chez les astronomes. Bien sûr, de Lalande est de la partie, c'est l'occasion d'établir les dimensions du système solaire et de prévoir les prochains passages (1874-1882 ; 2004-2012)

Jusqu'en 1775, l'abbé Nicolas de La Caille publie « Les éphémérides des mouvements célestes » et c'est de Lalande qui continue cette œuvre jusqu'en 1800. Ces tables étaient destinées à l'usage des astronomes et des navigateurs.

Au crédit de de Lalande, il faut aussi noter l'établissement d'un catalogue d'étoiles jusqu'à la magnitude 8. Il confie ce travail d'abord à son élève Dagelet, puis à son petit cousin Michel Jean-Jérôme Lefrançois.

De 1761 jusqu'à sa mort en 1807 il enseigne au Collège de France où il occupe la chaire d'astronomie (d'abord appelée chaire de mathématiques). Il est entouré d'une équipe de calculateurs... et de calculatrices. D'ailleurs, comme il est un peu « cabot », il demande

à l'une d'elles (Madame Lepaute) de rédiger un article élogieux sur lui-même. Très imbu de sa personne, il n'a pas que des amis dans son entourage ; ce qui n'empêche pas son élève Jean-Baptiste Delambre de prononcer un discours très chaleureux le jour de son enterrement le 6 avril 1807.

Joseph-Jérôme Lefrançois de Lalande a marqué l'histoire de son temps, avide d'étendre les connaissances scientifiques au plus grand nombre. Il était très scrupuleux dans ses méthodes de calcul, nombres de ses publications furent traduites en plusieurs langues et il serait illusoire de vouloir citer toute son œuvre en quelques pages.

Il est à noter, que « le quart de cercle » dont se serait servi de Lalande à Berlin pour la mesure de parallaxe de la Lune, se trouve actuellement à l'observatoire de Saint-Genis-Laval. L'histoire de cet instrument a fait l'objet d'une étude par des astronomes de l'observatoire et qui est publiée dans les Cahiers Clairaut N°120 du CLEA (voir photo jointe).

Sources

wikipedia

Bulletin de l'association des anciens élèves du Lycée

DeLalande à Bourg-En-Bresse

L'astronomie (SAF) volumes 120, 121

Mémoire à l'Académie des sciences le 21 avril 1773 (De Lalande)

Le calendrier républicain : J.G. Méridot et J.B. Chemin (Paris 1799, an VII)

Jérôme Lalande et la Bresse au XVIII<sup>e</sup> siècle

(Charles Jarrin 1869)

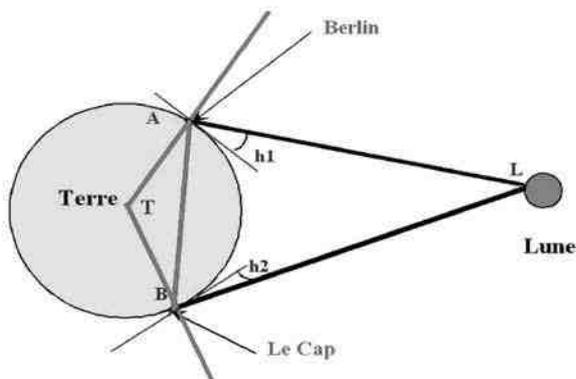
Le rendez-vous de Vénus (Jean-Pierre Luminet 1999)

Pour plus de détail sur la vie et l'œuvre de De Lalande, un excellent ouvrage a été publié aux éditions Vuibert : « Un astronome des lumières : Jérôme Lalande » par Simone Dumont.

## ANNEXE

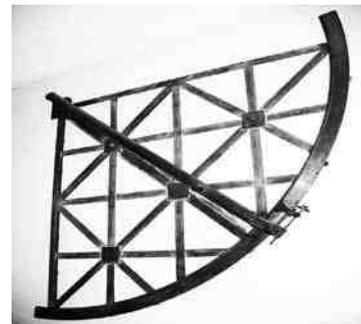
### MESURE DE LA PARALLAXE DE LA LUNE

De Lalande se trouvant à Berlin et De Lacaille au Cap, ils ont, au même moment et donc sur le même méridien, fait la mesure de la parallaxe de la Lune par triangulation. Connaissant la distance AB ainsi que les mesures des angles  $h_1$  et  $h_2$ , ils ont calculé la distance Terre Lune : soit 384 400 kilomètres (les mesures précises effectuées plus récemment au moyen de Laser, donnent une moyenne de 384 000 kilomètres).



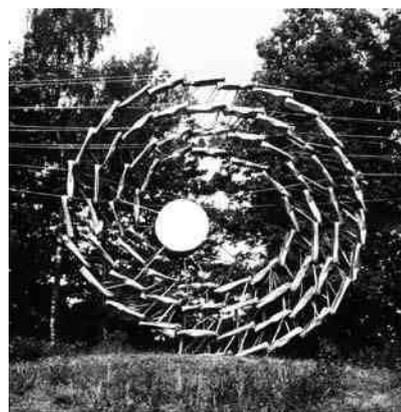
Ci-contre :

« Le quart de cercle » dont se serait servi de Lalande à Berlin pour la mesure de parallaxe de la Lune, se trouve actuellement à l'observatoire de Saint-Genis-Laval.



Ci-dessous :

Photo de la sculpture réalisée en 1986 par Monsieur Albert Féraud pour rendre hommage à de Lalande (sculpture visible sur l'aire d'autoroute de Bourg-en-Bresse sur



# L'HORLOGE ASTRONOMIQUE DE STRASBOURG

par Monsieur Jean KIPPER  
de la Société des Amis de la Cathédrale de STRASBOURG  
Astronome amateur



## UN PEU D'HISTOIRE

### La première horloge

Après s'être promené dans les rues de la vieille ville, le touriste vient visiter la cathédrale, « ange rose » au soleil couchant, et inmanquablement s'arrête pour admirer l'horloge astronomique installée dans le croisillon sud du transept.

Cette horloge est la troisième construite dans la cathédrale.

La première, appelée HORLOGE DES TROIS ROIS, car trois mages s'inclinaient devant la VIERGE, était fixée en face de l'horloge actuelle. Elle fonctionna deux siècles durant, à partir de 1354. Les pièces essentielles étant rouillées, hors d'usage, elle cessa de fonctionner et fut remplacée par une deuxième horloge à la demande du Magistrat de la ville.

### La deuxième horloge

Commencée en 1547, cette deuxième horloge ne put être mise en service que le 24 juin 1574 du fait de problèmes religieux (intérim d'Augsbourg, cathédrale rendue au culte catholique, Magistrat protestant, restitution au culte protestant en 1559). Après une « éclipse » d'un quart de siècle, il fallut trouver un homme ayant les capacités de réaliser un projet qui se voulait ambitieux afin de montrer le prestige de la VILLE.

La tâche fut confiée à CONRAD DASYPIDIUS (1531-1601)\* qui était titulaire de la chaire de mathématiques de l'Académie de STRASBOURG. Il se fit assister des frères HABRECHT, horlogers suisses et du peintre TOBIAS STIMMER de SCHAFFHOUSE en Suisse (1539-1584), pour le décor peint du buffet.

Cette deuxième horloge, logée dans un buffet en pierres et en maçonnerie (l'ancien était en bois) conçu et construit d'après le projet de Maître UHLBERGER, architecte et maître d'œuvre de la cathédrale comportait :

- ◇ UN GLOBE CÉLESTE avec 48 constellations
- ◇ UN CALENDRIER
- ◇ UN CADRAN HORAIRE
- ◇ UN ASTROLABE
- ◇ UN CADRAN DES PHASES LUNAIRES

Bien que COPERNIC ait déjà fait connaître, en 1534, sa théorie héliocentrique, l'ASTROLABE fonctionnait selon le système géocentrique de PTOLEMÉE, l'horloge ayant été conçue auparavant.

Plusieurs automates animaient également cette façade pour la grande joie et la curiosité admirative des visiteurs :

- ◇ Un coq chantait et battait des ailes
- ◇ Près du CHRIST, la MORT, égrenait les heures écoulées
- ◇ Les âges de la vie défilaient, symboles de la fuite du temps
- ◇ Un ANGE retournait un sablier.

Cette horloge faisait la fierté de la ville et, en ALLEMAGNE, elle était considérée comme un réel chef-d'œuvre et une des « sept merveilles » de l'Empire Romain Germanique. (STRASBOURG n'est rattachée à la France de LOUIS XIV qu'en 1681).

Manque d'entretien, usure ou simplement vétusté, l'horloge de DASYPIDIUS cessa de fonctionner en 1789. Les événements de cette époque troublée de notre Histoire causaient alors d'autres soucis au Magistrat de la ville : la réfection de l'horloge astronomique ne constituait pas une priorité. Il fallut attendre un demi-siècle pour que l'on envisage la restauration de cette merveilleuse mécanique dont certaines pièces (astrolabe, indicateurs astronomiques, sculptures diverses) sont conservées au MUSÉE des ARTS DÉCORATIFS de STRASBOURG.

## L'HORLOGE ASTRONOMIQUE ACTUELLE



Plaque apposée sur l'immeuble (rue BRÛLÉE à Strasbourg) où J.B. Schwilgué construisit l'horloge

Après la RÉVOLUTION, les guides et les suisses de la cathédrale présentaient l'horloge, désespérément inerte et silencieuse, en concluant qu'elle serait muette à jamais !

« Eh, bien moi, je la ferai marcher ! » s'écria un jour un jeune garçon qui fut chassé « manu militari » pour avoir montré une telle arrogance.

Ce jeune homme s'appelait JEAN-BAPTISTE SCHWILGUÉ (1776-1856). Il étudia la mécanique, l'astronomie, les mathématiques, fabriqua des machines, fut professeur de mathématiques, ingénieur mécanicien de précision et créa sa propre entreprise d'horlogerie.

En 1836, la VILLE lui proposa de restaurer l'horloge astronomique, ce qu'il accepta avec enthousiasme. Son rêve d'adolescent se réalisait à l'âge de 60 ans !

J.B. SCHWILGUÉ souhaitait construire une horloge dont les rouages et les mécanismes auraient été visibles, une toute nouvelle horloge ! Mais les finances de la VILLE ne permettaient pas la dépense pour un nouveau buffet et un mécanisme moderne. C'est donc par souci d'économie qu'il dut se résoudre à intégrer les mécanismes de sa conception dans le buffet existant, légèrement aménagé. Mécanismes du XIX<sup>ème</sup> siècle dans une construction Renaissance, voilà bien une des originalités de cette œuvre !

Le buffet, les données astronomiques et les automates constitueront les trois parties de la présentation de l'horloge.

\*DASYPODIUS : son père, professeur de grec à Strasbourg avait hellénisé son nom RAUFUSS, qui signifie «PIED RUGUEUX» en allemand

## LE BUFFET :

Un large soubassement (7 m de large et 4 m de haut), une tour centrale (18 m de haut) flanquée, à droite, d'un escalier d'accès aux mécanismes, et, à gauche de la tourelle des poids.

### Les peintures

Sur la tourelle, de haut en bas on distingue :

(Les numéros renvoient au descriptif sommaire en fin d'article)

- ◇ URANIE, déesse de l'ASTRONOMIE (1)
- ◇ Nicolas COPERNIC (2) tenant un brin de muguet rappelant qu'il était également médecin.
- ◇ Jean-Baptiste SCHWILGUÉ (3) peint par GUÉRIN en 1843.
- ◇ Sur le côté de la tourelle, les trois PARQUES, LACHESIS, CLOTHO et ATROPOS, dévident et coupent le fil de la vie (4)

Sur le soubassement, entourant le calendrier, figurent, de manière allégorique, les Empires passés : ASSYRIE, PERSE, GRÈCE, ROME.

Au-dessus, occupant des espaces longs mais étroits : la CRÉATION, Le JUGEMENT DERNIER, la CHUTE et le SALUT.

Plus haut les quatre âges de la vie (enfant, jeune homme, homme d'âge mûr, vieillard) symbolisent également les quatre saisons et le temps qui passe.

Tous les décors du buffet, peints par TOLBIAS STIMMER entre 1571 et 1574 et parfaitement conservés, rappellent au visiteur la fuite inexorable du temps et la nature mortelle de l'humanité.

### Les sculptures

Au pinacle de la tour centrale, H. Th. UHLBERGER, l'architecte de 1574, domine l'ensemble. En dessous se dressent les petites statuettes du prophète ISAÏE, des quatre ÉVANGÉLISTES avec leur symbole ainsi que quatre musiciennes.

Plus bas, sur le soubassement, deux lions présentent, celui de gauche le heaume et l'écu aux armes de STRASBOURG, celui de droite l'écu aux armes de L'ŒUVRE NOTRE-DAME.

## LES DONNÉES ASTRONOMIQUES ET SCIENTIFIQUES

Les données astronomiques, calculées par J.B. SCHWILGUÉ avec une précision extrême, sont reproduites par des mécanismes ingénieux fabriqués dans son entreprise à l'aide de machines-outils dont certaines spécialement imaginées, conçues et construites dans ses ateliers.

LE GLOBE CÉLESTE (5) situé au sol, à l'avant du buffet, a fait l'objet, en 2002, d'une importante restauration

(5) Globe céleste, au fond le calendrier



(6) Apollon pointant sa flèche sur la date



à l'initiative de la SOCIÉTÉ des AMIS de la CATHÉDRALE. Cinq mille étoiles des six premières grandeurs, appartenant à 100 constellations, y figurent à leur position exacte dans le ciel. Un ensemble d'axes et de pignons raccordés au mécanisme de l'horloge impriment au globe un mouvement de rotation autour de son axe oblique (environ 23°) reproduisant le mouvement apparent de la voûte céleste en 25800 années environ !

A l'arrière du globe céleste le cadran vertical du

CALENDRIER CIVIL (6) donne avec précision et à PERPÉTUITÉ : la date pointée par la flèche d'APOLLON, le jour, le nom du SAINT, les fêtes MOBILES.

Le cadran doré du calendrier avance d'un cran à minuit. Un jour supplémentaire se rajoute automatiquement les années bissextiles.

A droite DIANE (la nuit) revêtue de son manteau d'étoiles n'a qu'une fonction esthétique et de symétrie de l'ensemble.

Au centre de l'anneau du calendrier plusieurs aiguilles axées sur le pôle NORD de la carte terrestre indiquent (en temps vrai) :

- ◇ L'heure du lever et du coucher du Soleil (aiguilles noires).
- ◇ La position du Soleil, l'heure.
- ◇ Les mouvements de la Lune, les éclipses.

A droite du calendrier, dans une vitrine on peut admirer le mécanisme des ÉQUATIONS SOLAIRES ET LUNAIRES (7) qui commande les variations et les répercute sur les aiguilles des deux astres en accélérant ou ralentissant leur mouvement.

A gauche de l'anneau du calendrier, également sous vitrine, le COMPUT ECCLESIASTIQUE (8), véritable calculateur mécanique, fonctionne une seule fois par an, dans la nuit de la SAINT SYLVESTRE. Il réalise tous les calculs concernant la nouvelle année : millésime, cycles solaire et lunaire, épacte, date des fêtes mobiles, mise à jour du calendrier (année bissextile) etc.

La précision d'exécution, la finition des pièces de tous les mécanismes, mais également les calculs et solutions étudiés par J.B. SCHWILGUÉ, pour résoudre les problèmes astronomiques, font de son œuvre un merveilleux calendrier perpétuel.

Au dessus de l'anneau du calendrier un petit cadran à deux jeux d'aiguilles (9) indique l'heure solaire du méridien de Strasbourg (-31') et l'heure publique.



En dessous défilent les chars des divinités des jours de la semaine. Soleil-dimanche, Lune-lundi, Mars-mardi, Mercure-mercredi, Jupiter-jeudi, Vénus-vendredi, Saturne-samedi.



Au-dessus du cadran du temps réel et du temps apparent, entouré des peintures allégoriques des quatre âges de la vie : un **PLANÉTAIRE (10)** entouré de la couronne du ZODIAQUE. Les six planètes connues et visibles à l'œil nu, MERCURE, VÉNUS, LA TERRE avec sa LUNE, MARS, JUPITER ET SATURNE se déplacent et se situent dans

leur position exacte par rapport au SOLEIL central et au ZODIAQUE. Enfin, le **GLOBE LUNAIRE (11)**, mi-noir, mi-argenté, tourne sur lui-même au rythme des phases de la LUNE dans sa rotation sur elle-même en 29 jours.



### LES AUTOMATES

Les automates constituent l'attraction spectaculaire de l'horloge pour une majorité de visiteurs. Depuis 2007, un très beau film présente l'horloge sur un grand écran avant qu'à 12 h30 (midi solaire à Strasbourg) les automates se mettent en mouvement.

Dans la partie centrale du buffet les **APÔTRES** défilent devant le **CHRIST** qui les bénit alors qu'ils s'inclinent devant lui (12).

Lors de cette procession, le coq, perché sur la tourelle des poids, chante trois fois.

En dessous, un enfant, un adolescent, un homme d'âge mûr et un vieillard passent devant la **MORT**, qui, d'un os, frappe un timbre signifiant que l'heure est passée.

Sous le **PLANÉTAIRE**, assis sur le soubassement, deux petits anges (datant de la deuxième horloge) rythment également le temps qui passe, l'un en sonnant les quarts d'heure, l'autre en retournant un sablier.

La visite de l'horloge serait incomplète sans la présentation du **CADRAN EXTÉRIEUR**, d'une part et la **MÉRIDIENNE DE SCHWILGUÉ** d'autre part.



Le **CADRAN EXTÉRIEUR** est situé sur le croisillon sud du transept au-dessus d'une statue de la **VIERGE à L'ENFANT** et du **ROI SALOMON**. La grande aiguille indique l'heure officielle alors que la petite aiguille montre le jour de la semaine, et, à l'opposé, le signe de la divinité du jour.

En dessous du linteau du portail de droite une plaque métallique bizarrement « pliée » intrigue

parfois le visiteur profane. Il s'agit de l'**ŒILLETON** de la **MÉRIDIENNE** de **SCHWILGUÉ**.

Cette pièce métallique, en réalité en fer forgé, pour éviter les déformations, est percée d'un petit trou. Les rayons du Soleil projettent sur le portail un point lumineux qui,

à midi solaire, passe par la fente oblique qui y est pratiquée et vient marquer le midi sur un fil métallique vertical incrusté dans le montant en pierre, à l'intérieur du transept.

La forme particulière donnée à l'œilleton tient compte de l'orientation EST/OUEST de la cathédrale (angle de 28°) et de la latitude du lieu (48°35' N).

Cet ingénieux cadran solaire particulier permettait à J.B. SCHWILGUÉ de comparer d'un coup d'œil le **MIDI SOLAIRE** de l'horloge et le **MIDI SOLAIRE VRAI** à l'intérieur de la cathédrale ... par beau temps bien sûr !

Tout au long de l'année, le point lumineux de **MIDI**, se déplaçant verticalement du haut en bas du fil métallique, du solstice d'hiver (en haut) au solstice d'été (en bas), indique également la date et la position du Soleil dans le **ZODIAQUE**.

Cette **MÉRIDIENNE** était jusqu'en 2001 très peu mise en valeur, et, rares étaient les guides touristiques qui la mentionnaient dans leur présentation. Le cadran vertical entièrement dans le noir était obturé par un volet métallique de protection fermé en permanence.

En 2001, à l'initiative de la **SOCIÉTÉ des AMIS de la CATHÉDRALE**, le volet a été remplacé par une plaque de verre, le cadran a été rénové, ainsi que l'œilleton. Désormais, la visite de l'horloge astronomique de **STRASBOURG** est heureusement complétée par celle de cette **MÉRIDIENNE** qui montre l'ingéniosité et la précision des calculs de son concepteur.

**NOTA** : L'horloge de la cathédrale de **STRASBOURG** est remontée une **FOIS PAR SEMAINE** par un ancien mécanicien de l'entreprise **UNGERER** successeur de **SCHWILGUÉ**

### En guise de conclusion DE STRASBOURG A MESSINE ou de SCHWILGUÉ à Théo UNGERER (1894-1935)

En 1908, un violent séisme ravage la ville de Messine en Sicile, faisant des dizaines de milliers de victimes et détruisant nombre d'immeubles dont la cathédrale ... Puis la vie reprend ses droits et lentement la ville se reconstruit. A la nouvelle cathédrale est adjoint un campanile dans lequel l'archevêque de Messine propose d'installer une horloge astronomique.

Cette tâche est confiée à M. Théo **UNGERER** (1894-1935) qui n'est autre que le petit-fils de M. Auguste Théodore **UNGERER** (1822-1885) qui, avec son frère Albert (1813-1879), étaient les collaborateurs de J.B. **SCHWILGUÉ** pour la construction de l'horloge de Strasbourg.

A la mort de **SCHWILGUÉ**, en 1856, les deux frères **UNGERER** reprennent la « Fabrique d'Horlogerie et d'Instruments de Précision » qui se spécialise dans la conception et la fabrication et de grandes horloges destinées aux édifices publics. La notoriété des établissements **UNGERER** dépasse nos frontières et plusieurs milliers d' « horloges publiques » sont installées dans toute l'Europe.

L'**HORLOGE ASTRONOMIQUE DE MESSINE**, la plus grande actuellement au monde, conçue et construite dans



ses ateliers par Théo UNGERER assisté de son frère Charles fonctionna à partir d'août 1933.

Dans le campanile, haut de 65 m, des scènes bibliques animées (personnages grandeur nature), un calendrier, un planétaire, les phases de la Lune, les âges de la vie et un Lion gigantesque symbole de la province de MESSINE, sont mis en mouvement par des mécanismes construits à STRASBOURG en 1933. Certaines pièces, pignons, roues dentées, engrenages ont été usinés à l'aide de machines mises au point par SCHWILGUÉ près d'un siècle auparavant.

L'entreprise UNGERER dut cesser ses activités vers la fin du siècle dernier, les quartz, l'électronique, la miniaturisation ayant eu raison de l'horlogerie mécanique ...

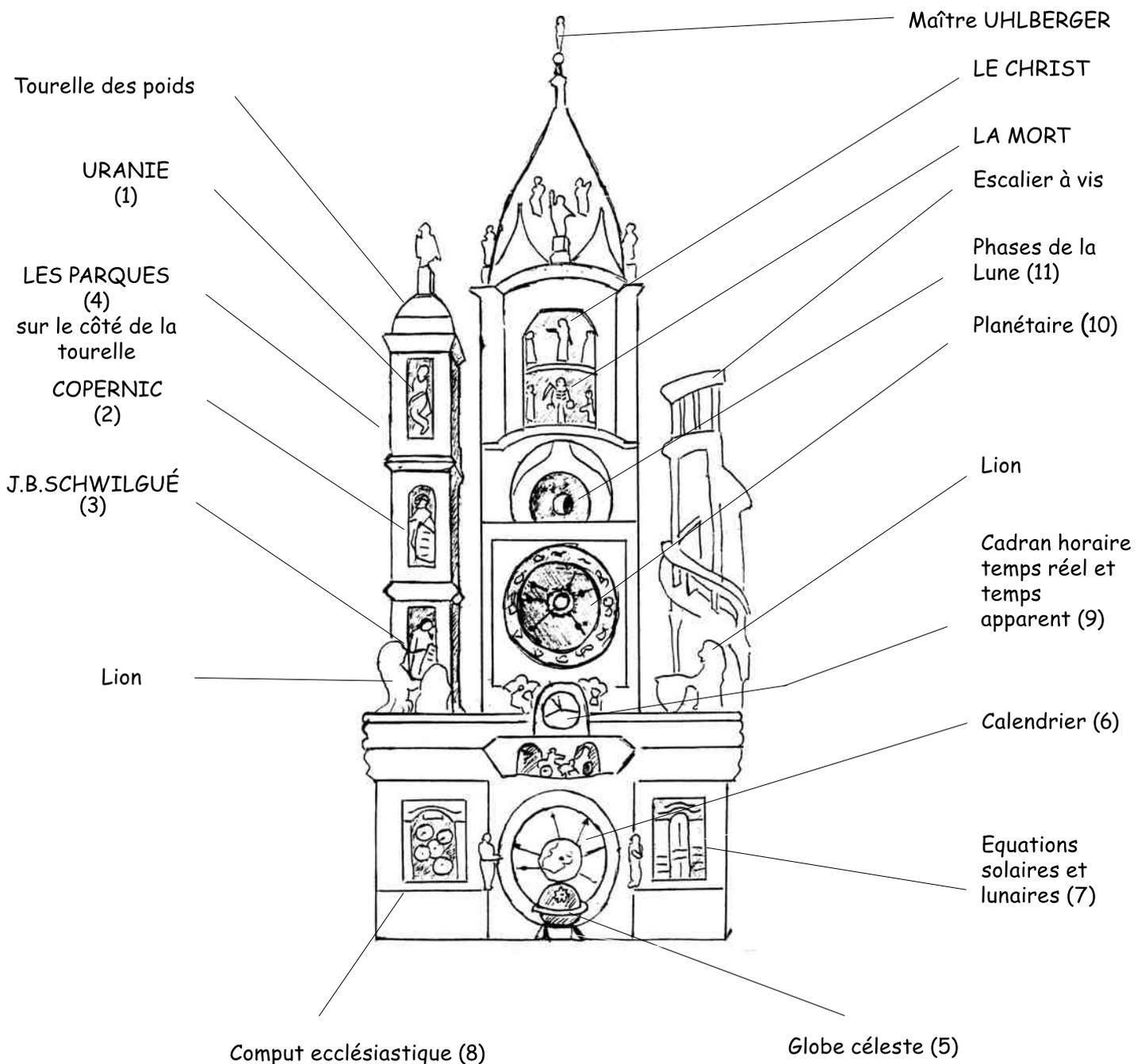
Mais les superbes mécaniques que sont les horloges astronomiques de très haute précision fonctionnent toujours et feront longtemps encore, souhaitons-le, l'admiration de nombreux visiteurs et curieux, pour

leur esthétique, leur précision et pour le génie de leur concepteurs, trop souvent ignorés.

#### BIBLIOGRAPHIE

- M. SCHICKELE « L'horloge Astronomique de Strasbourg » Imprimerie de l'Alsacien - 1919
- M. R. LEHNI « L'horloge Astronomique » Editions la Goélette - 1997
- M. Michel ZEHACKER « La Cathédrale de Strasbourg » Editions Robert Laffont - 1993
- M. Tomi UNGERER « De Père en Fils » Editions Nuée Bleue Saint -Paul Imprimeur - 2002
- M. Georges DELAHACHE « La Cathédrale de Strasbourg » Editions D.A. Longuet Paris - 1910
- Bulletin de la Cathédrale de Strasbourg (Amis de la Cathédrale) n° XXVI - 2004

### Descriptif sommaire



# LES POINTS DE LAGRANGE

(Joseph Louis de Lagrange 1736 - 1813)

par Louis SAÏS



Considérons deux astres en interaction gravitationnelle par exemple le système Soleil - Terre ou le système Terre - Lune.

Ces deux astres tournent à la même vitesse angulaire autour de leur centre de masse.

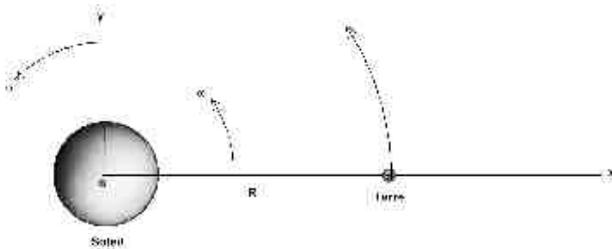
Dans le plan tournant il existe des points pour lesquels un objet qui y serait placé subirait une résultante totale des forces égale à zéro.

C'est à dire que le corps reste alors en équilibre par rapport aux deux astres.

Ces points, il y en a cinq, s'appellent les points de Lagrange

## Exemple simple : le système Soleil - Terre

Dans le cas du système Soleil - Terre nous pouvons considérer que le centre de masse est confondu avec le centre du Soleil puisque le rapport des masses est de l'ordre de un million. On supposera donc que la Terre tourne autour du Soleil sur une trajectoire circulaire de rayon  $R$  à la vitesse angulaire constante  $\omega$ . On place alors un référentiel  $Oxy$  dont le centre est confondu avec le centre du Soleil et dont l'axe  $Ox$  tourne avec la Terre.



### Détermination du point L1

On cherche à savoir s'il existe au voisinage de la Terre, entre la Terre et le Soleil un point L1 tel qu'en plaçant une masse  $m$  très petite en ce point, elle reste en équilibre. La masse  $m$  est suffisamment petite par rapport à la masse de la Terre pour ne pas modifier sa trajectoire; c'est le cas d'une sonde spatiale. Dans ces conditions le corps de masse  $m$  subit trois forces: l'attraction du Soleil, l'attraction de la Terre et la force d'inertie centrifuge.

$$\vec{F}_1 = -\frac{GMm}{x^2} \vec{u}$$

$$\vec{F}_2 = \frac{GM'm}{(R-x)^2} \vec{u}$$

$$\vec{F}_3 = m\omega^2 x \vec{u} \quad \omega^2 = \frac{GM}{R^3}$$

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0 \quad \text{S'il y a équilibre}$$

$$0 = -\frac{GMm}{x^2} + \frac{GM'm}{(R-x)^2} + m\omega^2 x \quad \text{soit} \quad -\frac{GMm}{x^2} + \frac{GM'm}{(R-x)^2} + \frac{GMm}{R^3} x = 0$$

puisque  $x$  est très légèrement inférieur à  $R$  on peut poser  $x = R - \epsilon$  avec  $\epsilon \ll R$   
 soit en simplifiant par  $Gm$ 

$$-\frac{M}{(R-\epsilon)^2} + \frac{M'}{\epsilon^2} + \frac{M}{R^3} (R-\epsilon) = 0$$

En faisant un développement limité on obtient
 
$$-\frac{M}{R^2} \left(1 + \frac{2\epsilon}{R}\right) + \frac{M'}{\epsilon^2} + \frac{M}{R^2} (R-\epsilon) = 0$$

Ce qui donne
 
$$\epsilon^2 = \frac{M'}{3M} R^3 \quad \epsilon = R \left(\frac{M'}{3M}\right)^{1/3}$$

$M = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  et  $M' = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  ce qui donne  $\epsilon = \frac{R}{100}$  L'approximation était bien justifiée  
 Le point  $L_1$  se trouve à 1,5 millions de km de la Terre

### Détermination du point L2

On cherche à savoir s'il existe au voisinage de la Terre, au delà de la Terre un point L2 répondant aux mêmes critères que L1. Les mêmes calculs que pour L1 donnent :

$$\vec{F}_1 = -\frac{GMm}{x^2} \vec{u}$$

$$\vec{F}_2 = \frac{GM'm}{(R+x)^2} \vec{u}$$

$$\vec{F}_3 = m\omega^2 x \vec{u} \quad \omega^2 = \frac{GM}{R^3}$$

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0 \quad \text{S'il y a équilibre}$$

$$0 = -\frac{GMm}{x^2} + \frac{GM'm}{(R+x)^2} - m\omega^2 x \quad \text{soit} \quad -\frac{GMm}{x^2} + \frac{GM'm}{(R+x)^2} - \frac{GMm}{R^3} x = 0$$

puisque  $x$  est très légèrement inférieur à  $R$  on peut poser  $x = R + \epsilon$  avec  $\epsilon \ll R$   
 soit en simplifiant par  $Gm$ 

$$-\frac{M}{(R+\epsilon)^2} - \frac{M'}{\epsilon^2} + \frac{M}{R^3} (R+\epsilon) = 0$$

En faisant un développement limité on obtient
 
$$-\frac{M}{R^2} \left(1 - \frac{2\epsilon}{R}\right) - \frac{M'}{\epsilon^2} + \frac{M}{R^2} (R+\epsilon) = 0$$

Ce qui donne
 
$$\epsilon^2 = \frac{M'}{3M} R^3 \quad \epsilon = R \left(\frac{M'}{3M}\right)^{1/3}$$

$M = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$  et  $M' = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$  ce qui donne  $\epsilon = \frac{R}{100}$  L'approximation était bien justifiée  
 Le point  $L_2$  se trouve à 1,5 millions de km de la Terre, symétrique de  $L_1$  par rapport à la Terre

### Détermination du point L3

On cherche à savoir s'il existe un point de Lagrange au delà du Soleil sur l'axe Soleil - Terre

$$\vec{F}_1 = \frac{GMm}{x^2} \vec{u}$$

$$\vec{F}_2 = -\frac{GM'm}{(R+x)^2} \vec{u}$$

$$\vec{F}_3 = -m\omega^2 x \vec{u} \quad \omega^2 = \frac{GM}{R^3}$$

la condition d'équilibre s'écrit alors :
 
$$\frac{GMm}{x^2} - \frac{GM'm}{(R+x)^2} - m\omega^2 x = 0$$

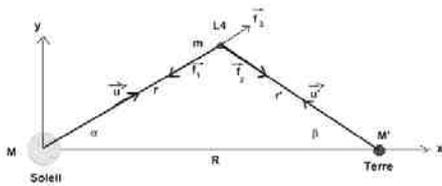
avec toujours  $\omega^2 = \frac{GM}{R^3}$

mais on voit tout de suite que la force de gravitation terrestre est beaucoup plus petite que la force du Soleil dans un rapport de l'ordre de  $1/100000$  On peut donc ne pas en tenir compte et écrire :
 
$$\frac{GMm}{x^2} - m\omega^2 x = 0 \quad \text{soit} \quad \frac{GMm}{x^2} = \frac{GMm}{R^3} x$$

On voit tout de suite que  $x = R$  donc le point L3 est opposé à la Terre

### Détermination des points L4 et L5

Cherchons s'il existe d'autres points ayant la propriété précédente en dehors de l'axe de symétrie, c'est à dire dont l'ordonnée  $y$  n'est pas nulle. Il existe effectivement deux points L4 et L5. L'axe Soleil - Terre est axe de symétrie par conséquent le point L5 sera forcément symétrique du point L4.



Les coordonnées de L4 sont x et y La force totale subie par la masse m est nulle d'où

$$\vec{0} = -\frac{GMm}{r^2} \vec{u} - \frac{GM'm}{r'^2} \vec{u}' + m \omega^2 r \vec{u} \quad \text{avec toujours } \omega^2 = \frac{GM}{R^3}$$

Si on projette cette relation sur ox on a :

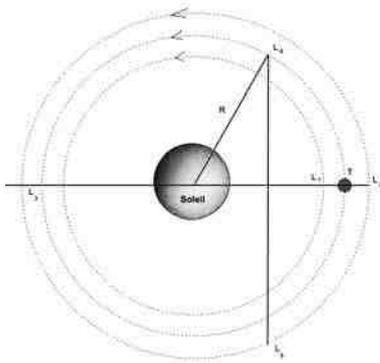
$$\frac{GMm}{r^2} \cos \alpha + \frac{GM'm}{r'^2} \cos \beta + \frac{GMm}{R^3} r \cos \alpha = 0$$

avec  $\cos \alpha = \frac{x}{r}$   $\cos \beta = \frac{(R-x)}{r'}$   $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  et  $r' = \sqrt{(R-x)^2 + y^2}$

L'équation devient

$$\frac{Mx}{(x^2 + y^2)^{3/2}} + \frac{M'(R-x)}{[(R-x)^2 + y^2]^{3/2}} + \frac{Mx}{R^3} = 0$$

Les 5 points de Lagrange sont disposés comme l'indique la figure suivante



## Conclusion

Il existe 5 points de Lagrange dans le référentiel tournant autour du soleil à la même vitesse angulaire que la Terre. Mais les points L1, L2, L3 correspondent à des maxima d'énergie potentielle totale, ce qui signifie que ce sont des positions instables. Une sonde placée en ces points ne peut pas y rester « toute seule » car la moindre perturbation lui ferait quitter sa position. Par contre les points L4 et L5 correspondent à des minima relatifs de l'énergie potentielle totale, ce sont des positions stables. Une sonde placée en ces points pourrait y rester. On pourrait généraliser la notion de points de Lagrange à tous les systèmes binaires comme le système Terre - Lune ou Soleil- Jupiter ou encore Saturne - Titan ; mais on ne peut pas exclure totalement l'influence des autres planètes et l'étude complète est bien plus compliquée. On remarquera que dans l'espace réel en prenant un référentiel lié aux étoiles, les lieux géométriques des points de Lagrange sont des cercles centrés sur le Soleil. ( Dans le cas très simplifié de notre étude )

## Y a-t-il des sondes aux points de Lagrange ?

Bien que les positions soient instables les points L1 et L2 sont utilisés en corrigeant périodiquement les trajectoires des sondes correspondantes. Ainsi la sonde Soho évolue autour de L1 et la sonde Map autour de L2. Pour certaines autres planètes ( Jupiter en particulier ) les points L4 et L5 sont occupés par des astéroïdes appelés « Troyens » s'ils sont en L4 et « Grecs » s'ils sont en L5.

## RUBRIQUE PRATIQUE : QUE PEUT-ON ATTENDRE D'UN APPAREIL PHOTO NUMÉRIQUE COMPACT (A.P.N.C.) EN ASTROPHOTOGRAPHIE ?

par Bernard DELLA NAVE



Il y a quelques années encore, les astrophotographes amateurs utilisaient, en majorité, la pellicule photo, que ce soit en noir et blanc ou en couleur. L'avènement des appareils photo numériques a complètement modifié la façon de saisir les images, notamment la prise de vue astronomique.

Les avantages du «numérique» sur l'«argentique» sont nombreux et évidents.

Intéressons-nous aux possibilités offertes par un simple appareil photo numérique compact (A.P.N.C.).

Il est assez surprenant de constater qu'un petit appareil, aux performances même modestes, permet de réaliser de bonnes images d'objets lumineux tels que la Lune ou les planètes (de Vénus à Saturne).

Parmi les avantages d'un tel appareil photo, il faut citer le contrôle immédiat de la qualité de l'image et la mise au point automatique de l'image lors d'une prise de vue directement faite sur l'oculaire. N'oublions pas que la mise au point sur une pellicule photo (et sur un capteur numérique) à travers le viseur d'un appareil argentique pose un réel problème, lors d'une prise de vue au foyer primaire. En observation visuelle, l'astronome place son oeil derrière l'oculaire, sa pupille étant au voisinage du cercle

oculaire, cette zone de petite dimension par laquelle passe toute la lumière reçue par l'objectif de l'instrument d'observation. Pour photographier avec un A.P.N.C. il suffit de mettre l'objectif de l'appareil photo à la place de l'oeil de l'observateur. Pour se placer dans de bonnes conditions de prise de vue il conviendra de choisir un oculaire de focale importante, 40 ou 32 mm par exemple.

Avec un oculaire de courte focale on risque d'avoir du vignetage, zone sombre qui limite les bords de la photo. Afin de maintenir le petit boîtier numérique en place et dans l'axe optique de l'instrument d'observation, on pourra confectionner une bague montée sur un support. Cet ensemble assurera une bonne stabilité du montage et évitera le porte-à-faux.

Il suffit ensuite de presser le déclencheur, puis de vérifier la qualité de l'image, de modifier éventuellement les paramètres de prise de vue dans le menu de l'A.P.N.C.

Un traitement avec un logiciel de retouche d'images et un compositage de plusieurs images amélioreront de façon sensible le résultat.

J'ai utilisé cette technique pour la première fois en 2002, l'A.P.N.C. possédant un capteur de 3,1 mégapixels. Quelques photos se trouvent dans la «Galerie Couleur».

Patrick Avet-L'Oiseau a réalisé de superbes photos lunaires et qui sont presque des photos en «Haute résolution».

Si vous utilisez ce mode de prise de vue ou si vous vous lancez, faites-nous parvenir vos chefs-d'oeuvre, ils seront publiés dans le prochain bulletin, dans la rubrique «GALERIE COULEUR»

*Deux photos de la Lune par Patrick AVET-L'OISEAU*



*Support d'A.P.N.C.  
réalisé par Patrick afin  
de maintenir l'appareil  
photo sur l'oculaire de  
son télescope*



**WEEK-END ASTRONOMIQUE  
7 ET 8 MARS 2008 EN DRÔME PROVENÇALE**  
Texte collectif, propos recueillis par Juliette BRÉMOND



Les uns arrivant par le sud, les autres par le nord, nous nous retrouvons une vingtaine de membres de la SAL, le soir à la ferme gîte du Casage près d'Eygalaye, en Drôme provençale. Après l'accueil très sympathique de la patronne des lieux, l'organisateur, Bernard CHEVALIER, a bien vite fait de nous répartir nos chambres, qui à une, qui à deux, qui à cinq places et tout ça dans une parfaite bonne humeur.

Nous avons tous accompli le trajet sous un ciel nuageux en gardant l'espoir de quelques éclaircies quand viendrait la nuit, les différents bulletins météo oscillant entre bonnes et mauvaises nouvelles. On veut y croire et tout le monde se met au travail pour monter les différents télescopes. Avant la tombée de la nuit, les 12 télescopes, de 80 à 450 mm, sont prêts à l'action.

Après le succulent repas servi au gîte, les premiers sortis poussent des cris de joie en découvrant un ciel sans nuage, lumineux quoique turbulent. Inutile d'énumérer tout ce qui fut observé. Tout ce qui était visible en cette nuit du 7 au 8 mars, y passa. Vers 2 heures du matin, après des passages nuageux de plus en plus fréquents, une petite pause café ou tisane, bien au chaud dans la salle à manger, est la bienvenue. Les plus fatigués vont alors dormir au vu de la couverture nuageuse épaisse cette fois tandis que les plus acharnés retournent sur le terrain. Ces derniers profiteront ensuite jusqu'au lever du jour d'un ciel redevenu clair et Philippe en profita pour faire de belles photos de la galaxie M51.

Le lendemain, samedi, un total ensoleillement permet aux courageux une longue promenade en montagne avec pique-nique dans un paysage superbe.

Quelques heures sont aussi réservées au travail, par petits groupes, sur le projet « Galilée ». Et voilà que, vers le soir, le ciel se couvre totalement. Aussi quel n'est pas notre bonheur, lorsque, après le délicieux couscous préparé par la maîtresse de maison, nous découvrons à nouveau un ciel éblouissant.

Le début de la nuit du 8 au 9 mars est très prometteur avec la voie lactée parfaitement visible. Nous avons droit donc à un très bon début de soirée qui fut mis à profit pour explorer notamment toutes les galaxies du Lion, de la Vierge et de la Chevelure de Bérénice et pour faire des photos avec Alain. La transparence se dégrada progressivement pour aboutir vers 3 heures du matin à une couverture nuageuse quasi totale, juste à temps pour permettre aux astronomes, d'aller prendre un repos bien mérité.

Le lendemain dimanche, il faut repartir. Tout le monde est enchanté de ce court séjour, tant par l'accueil que par la qualité du ciel, sans aucune lumière parasite.

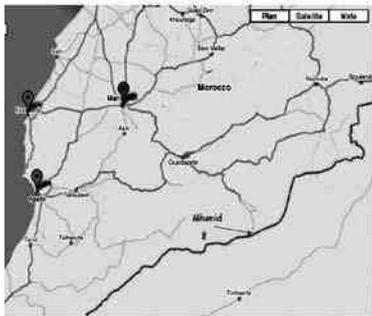
Une chose nous semble évidente : nous reviendrons !



*A noter : quelques photos du «week-end» se trouvent à la fin du bulletin dans la rubrique Galerie Couleur*

# LA LUMIÈRE ZODIACALE TELLE QU'OBSERVÉE DANS LE SUD MAROCAIN

par Bernard CHEVALIER



A l'occasion d'un séjour aux portes du désert dans le sud Marocain, nous avons pu séjourner plusieurs nuits dans le désert. Il s'agit de la région située au sud de Mhamid, terminus de la route se dirigeant au Sud Est du pays depuis Quarzazate.

A cet endroit situé à proximité de la frontière algérienne débute le désert par un ensemble de plateaux rocheux et dunes.

Il nous a été ainsi donné de passer 4 nuits consécutives à observer un ciel magnifique à l'écart de toute pollution lumineuse et par des conditions atmosphériques idéales, temps sec et froid. La clarté de la cinquième et dernière nuit fut réduite de par l'effet d'une tempête de sable et de nuages.

La Voie Lactée resplendissait au travers du ciel, et ce, depuis l'horizon sur 180 degrés. Les conditions d'observation étaient excellentes. La magnitude visuelle observée était de 5,8 telle que constatée avec HR 5091 dans la Petite Ourse malgré la faible hauteur de cette constellation sur l'horizon. La magnitude limite de visibilité à l'oeil reste néanmoins un critère limité puisque dépendant de l'acuité visuelle de l'individu. Il était également possible d'observer en vision décalée, quoique difficilement discernable, la comète 8P/Tuttle au Zénith, comète donnée d'une magnitude théorique 5,9 au premier janvier par les éphémérides du MPC (Minor Planet Center) et notée à 5.6 environ par les courbes d'observation de l'Union Astronomique Internationale pour une surface semblable à M13 soit environ 15'. Enfin on peut considérer la turbulence comme quasi nulle au moins dans un instrument de 70mm de diamètre.

Indépendamment des quelques observations faites à l'œil nu ou à travers la lunette, le plus étonnant reste l'apparition systématique de la lumière zodiacale tous les soirs après la tombée de la nuit, phénomène difficilement observable dans nos régions car faible et nécessitant des cieux très noirs.

La lumière zodiacale, « d'une pâleur éblouissante », s'élevait à l'Ouest après le crépuscule. On pouvait observer une bande continue de forme elliptique voire de pyramide émoussée à son extrémité et s'élevant à l'Ouest, sur plus de 45 degrés de l'horizon le long du tracé de l'écliptique qui s'élève favorablement, quasiment à la verticale, à cette période de l'année et à cet endroit (30° N, 5°W).

L'explication, donnée notamment par le site Web de Techno-Sciences.net, est la suivante : cette lumière

zodiacale est produite par la réflexion de la lumière du Soleil par les particules de poussière du milieu interplanétaire présentes dans le système solaire. Les matériaux qui la causent sont répartis dans un volume en forme de lentille centré sur le Soleil et s'étendant bien au delà de l'orbite de la Terre. Comme la plupart de ces particules sont situées près du plan de l'écliptique, la lumière zodiacale semble principalement en provenir.

La quantité de particules de poussière nécessaire pour produire la lumière zodiacale est extrêmement faible : si les particules possédaient un diamètre de 1 mm et le même albédo que la Lune, il suffirait que chaque particule soit distante de ses voisines de près de 10 km.

Le spectre de la lumière zodiacale est le même que celui du Soleil. Néanmoins, une partie de la lumière du Soleil est absorbée par les particules de poussière et ré-émise sous forme de radiation infrarouge. Cette émission induit une lente spirale des particules vers le Soleil (connue sous le nom d'effet Poynting-Robertson) qui implique qu'une source continue de particules est nécessaire afin d'entretenir la lumière zodiacale. On pense que les comètes et les astéroïdes sont responsables de ce phénomène. Ces dernières années, des observations réalisées par plusieurs sondes interplanétaires ont montré que des bandes de poussières associées à diverses familles d'astéroïdes et à des queues cométaires semblent liées à la structure de la lumière zodiacale. Enfin, je n'ai pu observer à l'opposé de la lumière zodiacale, une faible lueur ovale anti-solaire connue sous le nom de Gegenschein, mot allemand signifiant littéralement « la lueur de l'autre côté ».



Références : Explications données sur le site Web de Techno-Sciences.net et Image courtoisement fournie par Yuri Beletsky de l'ESO et prise depuis l'observatoire du Paranal au Chili en juillet dernier.

PS : A titre d'information, notez que le long de la route d'accès de Agdz à Mhamid, se trouve un hôtel dénommé « Sahara Sky », éloigné de 7 km au sud de Agdz, qui propose des séjours avec possibilités d'observations astronomiques.

# PROMENONS NOUS (ENCORE) DANS L'ESPACE

par François UDREA



Cela fait déjà quelques bulletins que nous tournons autour de la terre, arrimés à l'ISS. Si nous allions un peu plus loin ? Car là, franchement, quelques centaines de km au-dessus de la terre ce n'est pas très glorieux ... Petite postface : compliqué ou complexe ?

Rejoindre l'ISS, aller sur la lune, ou sur une autre planète c'est très simple, ou presque ... les vieilles « marmites » Kepler, Newton suffisent, un petit zeste d'Hoffman pour les planètes et tout est dit. En revanche c'est complexe, l'harmonie du système solaire n'est pas criante, rien ne tourne vraiment rond, (s'il y a un créateur faudrait à mon avis envisager de le licencier). Donc, ce petit article ne vous donnera pas de recettes avec ingrédients, poussées, temps de combustion, ni formules, car pour ça il faudrait parler « JPL », ce qui serait très largement au-dessus de mes capacités et nécessiterait un bulletin beaucoup plus gros.

Il ne s'agit que de théories et de grandes lignes (courbes d'ailleurs en l'occurrence ...)

Pour les « pervers », je conseille l'excellent, unique, fabuleux et gratuit etc, simulateur « orbiter » avec lequel vous aurez votre dose de calculs, heureusement aidés par ordinateur ... attention, les modes d'emploi et tutoriaux dépassent le millier de pages, (faut être pervers et insomniaque en plus, comptez 2 mois pour vous arrimer à l'ISS ...)

Pour l'instant, mis à part, que nous n'avons plus nos pieds plantés sur le sol, nous n'avons pas quitté la Terre, et nous ne la quitterons pas encore cette fois puisque nous n'irons que sur la Lune : on ne quitte vraiment la Terre en astronautique que lorsqu'elle cesse d'être notre référent et qu'elle passe la main au Soleil, la Lune comme l'ISS ne sont que des satellites de la Terre, cette dernière étant simplement plus grosse et légèrement plus éloignée.

Pire encore, lorsque la NASA envoie ses sondes elle trouve « plus simple » de raisonner de façon géocentrique qu'héliocentrique ... et ça marche ... rendre la Terre immobile et au centre choque un peu depuis Galilée ... mais c'est plus facile on vous dit.

Ah mais !

Mais revenons à l'ISS ...

Nous n'avons pas besoin dans ce bulletin de faire appel aux orbites de transfert d'Hoffman (HTO), sortons simplement de la naphthaline notre copain Johannès.

Comme c'est une fiction, pour nous nous simplifier la vie, nous ferons le plein d'hydrogène sans plomb aux pompes de l'ISS orbitant par décret dans le plan de l'écliptique. Sinon il faut redescendre et repartir du sol ce qui fera 2 pages de bulletin en plus.

Bien refermer les portes à cause des courants de vide, désarrimage, un brin de poussée pour s'éloigner et c'est parti !

1<sup>ère</sup> étape aligner les plans :

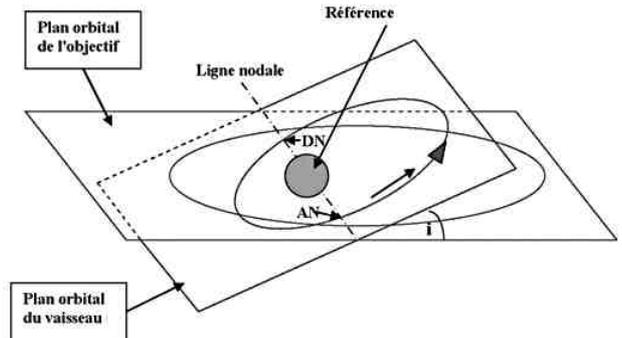
Si l'univers est plat pour les astrologues et les Shadoks (enfin uniquement pour les Shadoks les plus bêtes), ce n'est pas le cas pour nous, nous devons donc nous mettre dans le même plan que l'objet que nous cherchons à rejoindre.

Heureusement, la Lune et les planètes depuis que Pluton s'est fait retirer sa licence, se promène à la louche dans

le plan de l'écliptique.

Enfin il y a quand même un peu plus de 5° à aplatir pour rejoindre la belle Sélène. Nous avons déjà effectué cette opération pour rejoindre l'ISS, mais un petit rappel s'impose peut être.

L'orbite du vaisseau coupe le plan de l'écliptique en deux points appelés points nodaux situés sur la ligne nodale. AN est le point nodal ascendant : puisqu'à partir de là l'orbite du vaisseau passe « dessus » DN est le point nodal descendant puisqu'à partir de là l'orbite du vaisseau

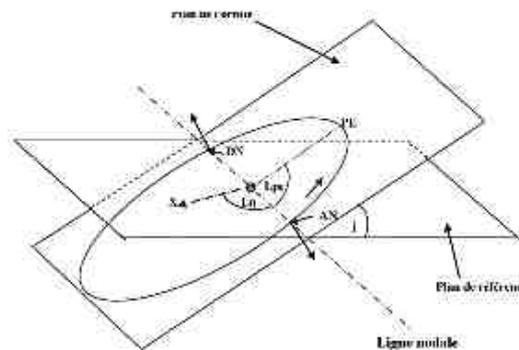


passer « dessous ».

$i$  est l'angle d'inclinaison entre les deux plans, environ 5° dans notre cas, qu'il faut annuler.

Définition de l'orbite par rapport à un plan :

- l'inclinaison  $i$  du plan orbital de l'orbite par rapport au plan de référence
- la longitude du point nodal ascendant AN par rapport à un axe de référence X qui est défini comme la direction du centre du soleil lorsqu'il se trouve au point de son orbite qui correspond à l'équinoxe de printemps (point vernal)



Si l'on fait varier seule la longitude  $L_n$  du point nodal ascendant on fait tourner le plan de l'orbite sans modifier son inclinaison.

Si l'on fait varier seule la longitude  $L_{pe}$  de la périhélie PE on va faire tourner l'orbite dans son plan. Donc ... mais c'est bien sûr ... pour changer l'inclinaison du plan orbital il faut effectuer une poussée perpendiculaire à ce plan à un des points nodaux, «vers le bas» au point ascendant AN ou «vers le haut» au point descendant DN

Attention cette opération peut nécessiter un « certain temps » il faudra donc répartir la poussée symétriquement à ce point, et s'il faut par exemple 300 secondes de combustion, allumer la chandelle 150 secondes avant le passage au point nodal. De plus le carburant est précieux,

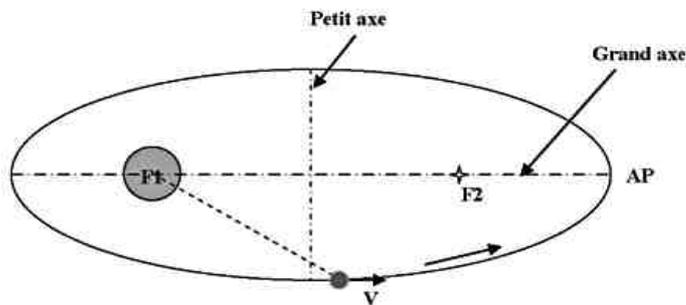
nous aurons donc intérêt, si l'écart est important, à ne pas vouloir tout corriger d'un coup car la manœuvre diminue d'efficacité lorsque l'on s'éloigne du point ; patience dans ce cas et répartissons l'aplatissement sur plusieurs demi-tours ... un petit coup vers le haut, un petit coup vers le bas.... Pas trop à chaque fois.  
Dans l'espace les gens pressés ne vont pas loin.

Bon, mais comme là une bonne fée a déplacé l'ISS sur l'écliptique (merci Carabosse) nous ferons tout en une fois ...

2<sup>ème</sup> étape couper l'orbite lunaire :

Piûre de rappel képlérienne : L'ellipse possède deux axes de symétrie et deux foyers dont un foyer F1 est occupé par le corps de référence autour duquel nous gravitons à la vitesse V (vitesse tangentielle sur son orbite) en l'occurrence la Terre que nous ne quittons pas vraiment comme précisé juste avant (na !!! je l'avais bien dit).

L'apoastre et le périastre sont les extrémités du grand axe ; pour une parabole ou une hyperbole le foyer F2 et l'Apoapsis sont reportés à l'infini. La parabole et l'hyperbole sont des courbes ouvertes et après son passage au périastre le satellite s'éloigne vers l'infini qui est « super très loin » et ne reviendra jamais ... on en reparlera mais sachez déjà que ce serait un mauvais plan pour des « Salaunotes » embarqués dans cette aventure. A partir de maintenant nous pouvons raisonner à 2 dimensions comme sur une grande feuille de papier, genre A4 mais en plus grand, car il n'y a en ligne droite que 400 000 km. Contrairement à Jules Verne et Tintin nous ne prendrons pas la ligne droite ! Nous ne sommes pas des photons, ah mais ....



Kepler va venir nous aider ... « yaka » transformer notre petite orbite quasi-circulaire à quelques centaines de km de la Terre en orbite fortement elliptique dont l'apoastre contiendra la sphère d'influence de la Lune, le grand axe fera environ 400 000 km.

Bien sûr il serait très simple (enfin « très » j'exagère un peu ... mais « plus » disons) de se contenter d'une courbe ouverte, parabole ou hyperbole flirtant avec la sphère d'influence de la Lune, mais avec bémol : si les freins lâchent ou si « nous avons un problème » nous partirons visiter le système solaire un peu au hasard.

Pour mémoire si les astronautes d'Apollo 13 avaient retenu cette solution de tir ils ne toucheraient pas leurs points de retraite mais auraient donné leurs noms à une formation lunaire ou martienne, (c'est un choix, surtout qu'un est mort depuis).

On va dire que l'ellipse c'est plus sûr ...

Pour augmenter l'apoastre, Johannès est formel : il faut et il suffit d'effectuer une poussée au périastre. (Augmenter la vitesse tangentielle en un point de l'orbite

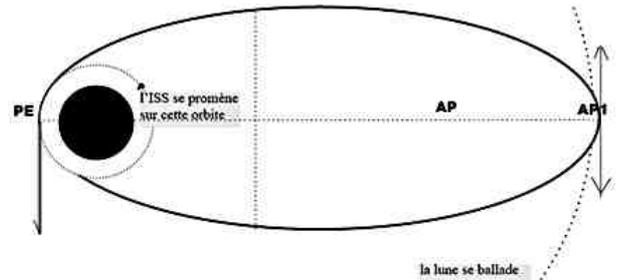
éloigne le point opposé à 180° et bien sur la diminuer le rapproche, généralement on effectue ces manœuvres aux points significatifs : apoastre et périastre) plus le périastre sera bas, plus nous irons vite, ce qui augmentera l'efficacité de la manœuvre.

Attention quand même à ne pas trop exagérer, la Terre a encore une atmosphère ... et dans notre cas à partir de l'ISS il est vraiment inutile de le baisser préalablement !

Toutefois avant de préparer la mise à feu il nous reste un léger détail à régler : il serait intéressant que la Lune ait le bon goût et l'immense courtoisie de se trouver pile à notre apoastre, un tout petit peu en arrière et venant vers nous ça serait parfait (en prograde donc pour améliorer le freinage) au moment où nous l'atteindrons. Mais cet astre lunatique ne fera aucun effort pour nous arranger ; ça va être à nous de nous débrouiller.

Et là, ça devient un peu complexe (mais pas compliqué !) nous sommes sur des rails et n'avons plus que 2 paramètres modifiables :

« Quand » : choix de la bonne orbite que nous bouclons pour l'instant toutes les 2 heures et qui nous permettra d'attendre que le gibier soit au bon endroit (en sachant que la balle met 4 jours à arriver) et plus finement sur



cette orbite à quel moment (ou à quel endroit ce qui est pareil) car le périastre n'est qu'un point et dans la pratique il faudra bien sûr allumer la chandelle avant et la laisser brûler après.

L'autre paramètre intimement lié : le temps de combustion (pour la puissance sur une fusée c'est toujours à fond, à fond ...) n'est modifiable que dans une fourchette étroite vu la vitesse à laquelle nous viderons le réservoir.

Ces calculs effectués, de préférence par le JPL, c'est plus sûr, il ne nous reste plus qu'à attendre ce moment fatidique, pas très loin du périastre, et à mettre pleins gaz !!! Ce qui, pour un observateur un peu naïf ou pas très au courant des lois de la mécanique céleste, paraîtra fort étrange car il nous verra tourner le dos à la Lune et même passer « derrière la Terre ». (Évitez d'en rajouter en lui expliquant que pour aller sur Saturne on passe parfois par Mercure sinon c'est l'asile assuré).

Cette petite combustion achevée, (dans le cas d'Apollo elle était à peine de 7 min.) nous sommes en roue libre, dans le bon sens en ressortant, mais pas question de passer la marche arrière en cas de remord ou d'erreur, cette option n'existe pas.

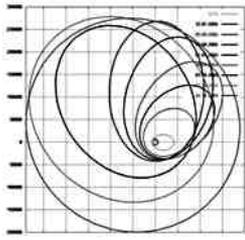
C'est parti pour 4 jours à rêvasser et à se demander si on a bien fermé l'eau et le gaz avant de partir.

Avant de continuer il faut aussi citer la méthode « radine » employée en particulier par la sonde Smart 1 équipée d'un ridicule moteur ionique.

Contrairement à nous qui avons augmenté d'un coup l'apoastre jusqu'à sa valeur finale pour faire le voyage en une seule fois, (nos provisions d'oxygène et de saucisson

ne sont pas illimitées) Smart 1 qui n'avait pas ces problèmes d'intendance et peu de puissance a augmenté progressivement le sien tour après tour, un petit «prout» à chaque passage près de nous.

Ce qui donne ça :



Les ellipses ne sont pas confondues car tout le bazar tourne pendant ce temps ... et il aura fallu 18 mois, mais 60 L de carburant seulement !!!

Mais revenons à notre vaisseau, nous aurons quand même 2 ou 3 petites bricoles à faire.

Quelque soit le soin apporté à notre mise à feu elle n'a sans doute pas été totalement parfaite et n'oublions pas que quelques secondes d'arc projetées sur une longue distance peuvent représenter à l'autre bout une valeur significative. Il va donc falloir effectuer une ou des corrections, mais quand ?

Ça c'est une bonne question .... Plus nous ferons notre correction rapidement, donc près de notre origine le périastre, et plus elle sera rentable (en termes de résultat/carburant brûlé) mais peu précise, plus nous la ferons près de notre but, donc de l' apoastre, et plus elle sera précise mais coûteuse.

Que faire ! En bonne logique comme dans les missions Apollo : une première correction grossière au début et on «pinaillera» un peu plus près de l'arrivée. Apollo 11 avait effectué une première correction après 24 h, et une seconde à 60 heures avant l'insertion en orbite lunaire à 85 heures.

L'insertion eh bien, parlons en !

Nous allons passer la frontière Terre-Lune c'est-à-dire le point de Lagrange (cf. article de Louis Sais p 14) entre les 2 astres au-delà duquel la Lune commencera à manifester modestement sa présence.

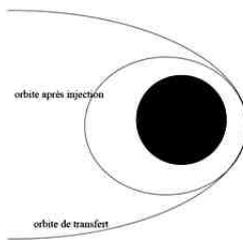
Mais n'oublions pas que notre orbite nous ramènera sur la Terre si nous ne faisons rien, l'influence de la Lune n'est là que pour compliquer les calculs, elle est trop faible pour nous capturer compte-tenu de notre vitesse (d'ailleurs c'est bien ce que nous voulions au départ !).

Il va falloir perdre de la vitesse pour nous faire capturer et comme il ne faut pas trop compter sur un freinage

aérodynamique, il ne nous reste que la version dynamique, c'est-à-dire au moteur.

Premier temps, comme dans Tintin on retourne le véhicule pour mettre les moteurs en rétrograde, deuxième temps à l'apoastre de notre ellipse, (enfin un peu avant et après comme pour partir au périastre) on remet les gaz à fond, à fond .... Vous vous souvenez que freiner à l'apoastre diminue le périastre, c'est parfait il suffit de mettre le paquet en une seule fois car il n'est pas question de refaire un grand tour ! Les puristes pourront même «circulariser» pour la beauté du geste, mais ce n'est pas indispensable Apollo 11 s'est contenté d'une orbite assez fortement elliptique de 100x300 km.

Et comme maintenant nous sommes en orbite autour de la Lune, notre ancien périastre « derrière » la Terre est devenu l'apoastre et notre apoastre de freinage le périastre de notre orbite lunaire ... bref nous sommes arrivés.



Il ne nous reste plus qu'à descendre le périastre au niveau du sol pour faire un joli cratère supplémentaire, ou appeler un certain Amstrong pour nous poser en douceur.

Sources : Dan Steph Orbiter

*Petites variations autour d'Apollo 11 :*

*Ce schéma de voyage est volontairement simplifié, or il y a parfois dans la pratique des contraintes pénibles : il restait après mise en orbite terrestre environ 340 secondes de carburant à brûler dans le 3<sup>ème</sup> (et dernier !) étage. Pas question dans ces conditions de se payer le luxe d'aligner les plans pour simplifier les calculs, l'écart grâce à un bon lancement était certes faible (inférieur à 3 °) donc gérable compte tenu de la distance. De fait l'injection vers la Lune ne s'est donc pas faite exactement en prograde comme dans ce bulletin mais dans un système de référence à 3 vecteurs dit « local velocity frame » 1 vecteur dans la direction prograde, 1 vecteur dans la direction normale à l'orbite (confondu dans ma démonstration simplifiée) et 1 autre dans la direction radiale permettant du coup de récupérer les plans.*



## OBSERVATIONS : ZOOM SUR 2 OBJETS

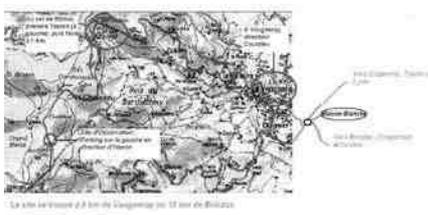
Patrick AVET-LOISEAU et Christophe GROS



**Observations : zoom sur 2 objets**

**Quand ? - 7 janvier 2008**

**Où ? - Col de Malval**



**Avec ? - T250**

**Qui ? - Christophe Gros et Patrick Avet-L'Oiseau**

En ce début d'année la météo ne nous a pas permis de beaucoup observer, aussi dès qu'une zone d'accalmie entre deux vagues de dépressions s'est présentée le lundi 7 janvier, n'avons-nous pas hésité très longtemps ; un rapide coup d'œil sur les cartes de prévisions de couverture nuageuse d'Astrosurf nous a confirmé une très belle première partie de nuit. Nous nous sommes donc donné rendez-vous au-dessus du col de Malval sur la crête qui domine Lyon en direction d'Yzeron.

Là un petit parking permet d'installer les instruments. Christophe est un «aficionado» de ce petit parking qui longe la route.

Pour ma part c'était la première fois que j'observais depuis ce site qui présente quelques avantages. Avant tout

sa proximité avec l'ouest lyonnais, l'absence de lumière directe et une altitude intéressante. Certes, l'horizon Est est illuminé par Lyon, mais avec une bonne transparence, cela n'était pas très gênant. L'horizon Ouest est également parfaitement dégagé et on peut voir au loin les lumières des petits villages.

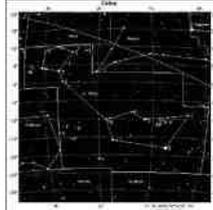
Les horizons Nord et Sud sont quant à eux légèrement «bloqués» par deux petites collines. Une très belle Voie Lactée barrait le ciel de Cassiopée jusqu'au Grand Chien. Nous avons observé de nombreux objets, notamment les deux comètes Tuttle et Holmès, Mars évidemment et également Saturne, ma première observation de cette planète en 2008.

Mais nous voudrions surtout vous détailler deux objets singuliers que j'ai observés pour la première fois grâce aux conseils de Christophe et qui présentent de nombreuses caractéristiques très intéressantes.

## Objet 1 : M77

### Messier 77 : localisation

Galaxie Spirale M77 (NGC 1068), Type Sb, dans la Baleine, Cetus A. Ascension Droite : 02:42,7 (h:m) Déclinaison : -00:01 (deg:m)



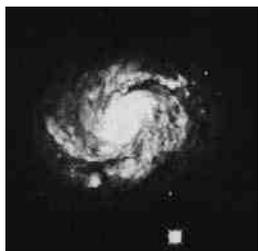
Distance : 60 000 (kilo.al)  
Magnitude : 8,9 (visuelle)  
Dimension apparente : 7x6 (min. d'arc)  
Très facile à trouver (0,7° ESE δ Ceti)

### M77 : à l'oculaire

Elle est visible sous la forme d'une petite nébulosité, légèrement ovale, avec un noyau extrêmement brillant. Elle est accompagnée par une étoile de magnitude 10 à seulement 2' ; ce qui forme un très joli couple.

Avec un 300mm des condensations lumineuses brillantes apparaissent de part et d'autre de ce noyau, qui constituent les prémices des bras spiraux.

### M77 : Historique



Découverte le 29 octobre 1780, par Pierre Méchain.

Charles Messier l'inclut dans son catalogue le 17 décembre 1780 sous le N° 77 et il la qualifia improprement d'amas avec nébulosité.

William Herschel l'observe entre 1783 et 1810, à l'aide de différents

télescopes, et la décrit en ces termes : «An ill defined star, surrounded by nebulosity ». «It has almost the appearance of a large stellar nebula». «Very bright; an irregular extended nucleus with milky chevelure, 3 or 4 minutes long, near 3 minutes broad.»

«A kind of much magnified stellar cluster; it contains some

bright stars in the centre». «From the observations of the large 10 feet telescope, which has a gaging power of 75.82, we may conclude that the profundity of the nearest part of this object is at least of the 910<sup>th</sup> order».



Lord Rosse

### M77 : Lord Rosse

William Parsons dit Lord Rosse (17 juin 1800 - 31 octobre 1867) est un riche astronome Irlandais. Il se fit construire un gigantesque télescope de type réflecteur (le Léviathan de Parsonstown dont le diamètre est de 72 pouces).

M77 est l'une des premières galaxies à être reconnue comme spirale, dans une publication de Lord Rosse de 1850 («14 spiral or curvilinear nebulae », ce sont : M74, M77, NGC 1637, NGC 3198, M96, NGC 3726, NGC 3938, M100, M88, M58, NGC 725, M63, NGC 5557 et NGC 7331).

### Description

M77 est une superbe galaxie, une des plus grosses du catalogue de Messier (de l'ordre de 1 000 milliards de masses solaires).

Sa partie brillante s'étend sur 120 000 années-lumière, et les plus fines extensions jusqu'à près de 170 000 années-lumière.

C'est une magnifique spirale aux bras bien structurés.

Elle est distante de la Terre d'environ 60 millions d'années-lumière (selon les estimations elle est l'objet Messier le plus éloigné).

Elle s'éloigne de nous à une vitesse de 1 100 km/s environ.

Les premières mesure de vitesse ont été faites par Vesto M. Slipher du Lowell Observatory en 1914.

A cette époque elle est la deuxième galaxie présentant le plus fort redshift (après M104).

Les vitesses de rotation du disque interne ont également fait l'objet de recherches par E. M. Burbidge, G. R. Burbidge et K. H. Prendergast en 1959.

Le disque, d'une masse estimée à 27 milliards de masses solaires, est incliné de 51° par rapport à la ligne de visée.

### Un objet unique et particulier

Son spectre possède des caractéristiques spécifiques sous la forme de larges raies d'émission, et des nuages de gaz géants s'échappent rapidement de la région centrale à plusieurs centaines de km/s.

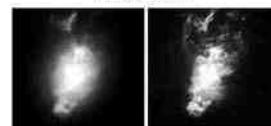
C'est en 1908, qu'Edward A.

Fath du Lick Observatory découvre six lignes d'émission, qu'il identifia de «type Nébuleuse Planétaire» (H Beta, [O II] 3727, [N III] 3869, [O III] 4363, 4959, 5007).

En 1917, Vesto M. Slipher au Lowell Observatory réalise un bien meilleur spectre, qui confirme l'observation d E. Fath.

M77 est mentionnée par Edwin P. Hubble dans sa communication historique sur « les nébuleuses extragalactiques » en 1926. M77 est donc classée en tant que galaxie Seyfert de type II.

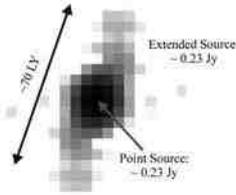
The Central Region of the Active Galaxy NGC 1068  
Hubble Space Telescope  
Faint Object Camera



## M77 : Galaxie de Seyfert

Carl K. Seyfert, les décrit en premier en 1943.

Les galaxies de type I ont une vitesse d'expansion encore plus grande, de l'ordre de plusieurs milliers de km/s.



M77 est le représentant le plus proche et le plus brillant des galaxies actives de ce type.

Une énergie énorme est nécessaire pour générer une telle vitesse, elle est située au cœur de la galaxie.

Le noyau de M77 est reconnu comme une puissante radiosource (découvert par Berbarad Yarton Mills en 1952), appelé Cetus A.

Il a été observé à l'aide du Télescope Spatial Hubble dans le domaine visible.

L'objet central responsable de l'activité de Seyfert a été détecté dans l'infrarouge par le Keck. C'est une puissante source ponctuelle d'environ 10 millions de masses solaires. Elle est entourée par une structure allongée de 100 al d'extension (concentration d'étoiles ou matière interstellaire), et qui n'était pas visible sur les images d'Hubble.

Le radiotélescope de 100 mètres de diamètre du Max Planck Institute (Effelsberg en Allemagne) a observé un disque géant d'environ 5 années-lumière de diamètre en orbite autour de cet objet et contenant des molécules d'eau.

M.F. Walker a trouvé dans le disque interne entourant le noyau actif, et proche de son centre des nébuleuses en émission avec des vitesses d'expansion considérables.

Une intense activité de formation d'étoiles a été découverte dans une barre interne par le Ultraviolet Imaging Telescope lors de la mission Astro-1 de la navette spatiale.

Ces régions de formation d'étoiles sont parmi les plus brillantes connues, et peut-être les plus lumineuses dans un rayon de 100 millions d'années-lumière.

Les galaxies de Seyfert peuvent être considérées comme des quasars en miniature (radiosources quasi-stellaires). Cette hypothèse avancée par Donald E. Osterbrook et R.A.R. Parker en 1965 est maintenant confirmée après une décennie de recherches.

Il semble probable que tous les types de noyaux actifs de galaxies (AGNs) :

- Les galaxies de Seyfert
- Les radiogalaxies
- Les quasars
- Les objets BL Lacertae et autres, ont une cause physique commune : un objet central super massif qui accumule de la matière sous forme gazeuse depuis leur proche environnement.

## M77 : Environnement

M77 est le membre principal d'un petit groupe physique de galaxies :

- NGCs 1055 (type Sb) mv10.6
- NGC 1073 (type SABc) mv11.0
- UGCs 2161 (DDO 27, type Im) mv15.4,
- UGC 2275 (DDO 28, type Sm - désignant un type

morphologique entre galaxies spirales et irrégulières) mv 13.4

UGC 2302 (DDO 29, type Sm) mv 13.2

Galaxies irrégulières UGCA 44 et la SBc spirale barrée Markarian 600 NGCs 1087 (Sc) mv10.9, 1090 (S-) mv11.8, et 1094 (SABb-) mv12.50 sont des galaxies proches mais à l'arrière-plan, comme le montre leur redshift plus élevé.



## Objet 2 : NGC 2419

Vagabond intergalactique, amas globulaire dans la constellation du Lynx

### Localisation

Ascension Droite : 07 : 38,1 (h:m)

Déclinaison : +38:53 (deg:m)

Distance : 295 (kilo.al)

Magnitude : 10,4 (visuelle)

Dimension : apparente 4,1 (min. d'arc). Pas très facile à trouver.



### A l'oculaire

Il se présente comme une tache floue très faible, presque alignée avec 2 étoiles brillantes.

Dessin Christophe Gros



### Historique

Il est découverte par William Herschel le 31 décembre 1788, qui ne détecta pas sa nature globulaire et le catalogua comme une nébuleuse brillante très lointaine (ce qui s'explique facilement par son faible diamètre angulaire et la magnitude visible de ses étoiles qui est supérieure à 17).

Comme pour M77 c'est Lord Rosse, qui en 1861 le reconnaît comme un amas globulaire.

### Description

C'est l'amas globulaire le plus éloigné du soleil et également du centre de la voie lactée (près du double de la distance du Grand Nuage de Magellan).

Il est très lumineux (luminosité absolue) : Mag -9,48

Il est le 4<sup>ème</sup> amas globulaires le plus lumineux après Omega du Centaure, NGC 6388 dans Scorpion et M54.

Les étoiles les plus lumineuses sont des géantes rouges (400 fois plus lumineuses que le Soleil).

Il se rapproche de nous à la vitesse de 20 km/s.

Harlow Shapley le surnomme le «vagabond intergalactique».

L'objet de la voie lactée le plus lointain est visible dans un petit télescope d'amateur.

Il peut même être résolu dans un 350mm à «x400».



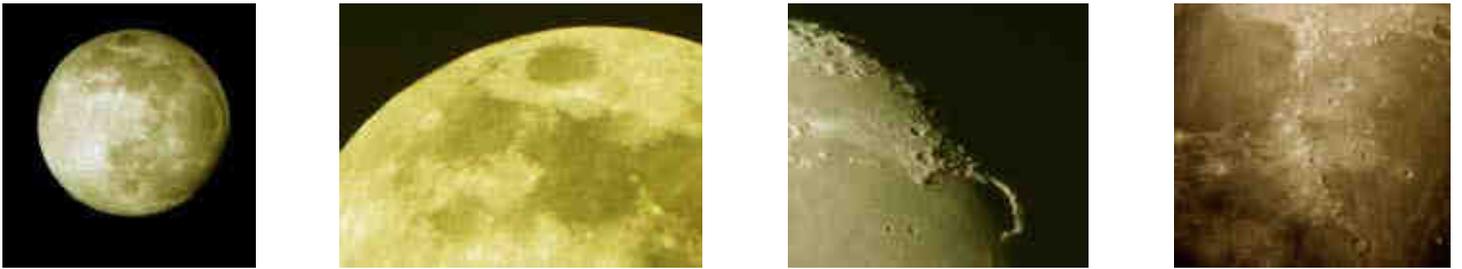
SUR LE TERRAIN ...EN IMAGES  
7 ET 8 MARS 2008 EN DRÔME PROVENÇALE

WEEK-END ASTRONOMIQUE

*Photos Juliette Brémond et Bernard Reynaud*



PHOTOS NUMÉRIQUES A.P.N.C. de la LUNE *Photos B.D.N.*



PHOTOS NUMÉRIQUES A.P.N.C. Éclipse de Lune 09.11.2003 *Photos B.D.N.*

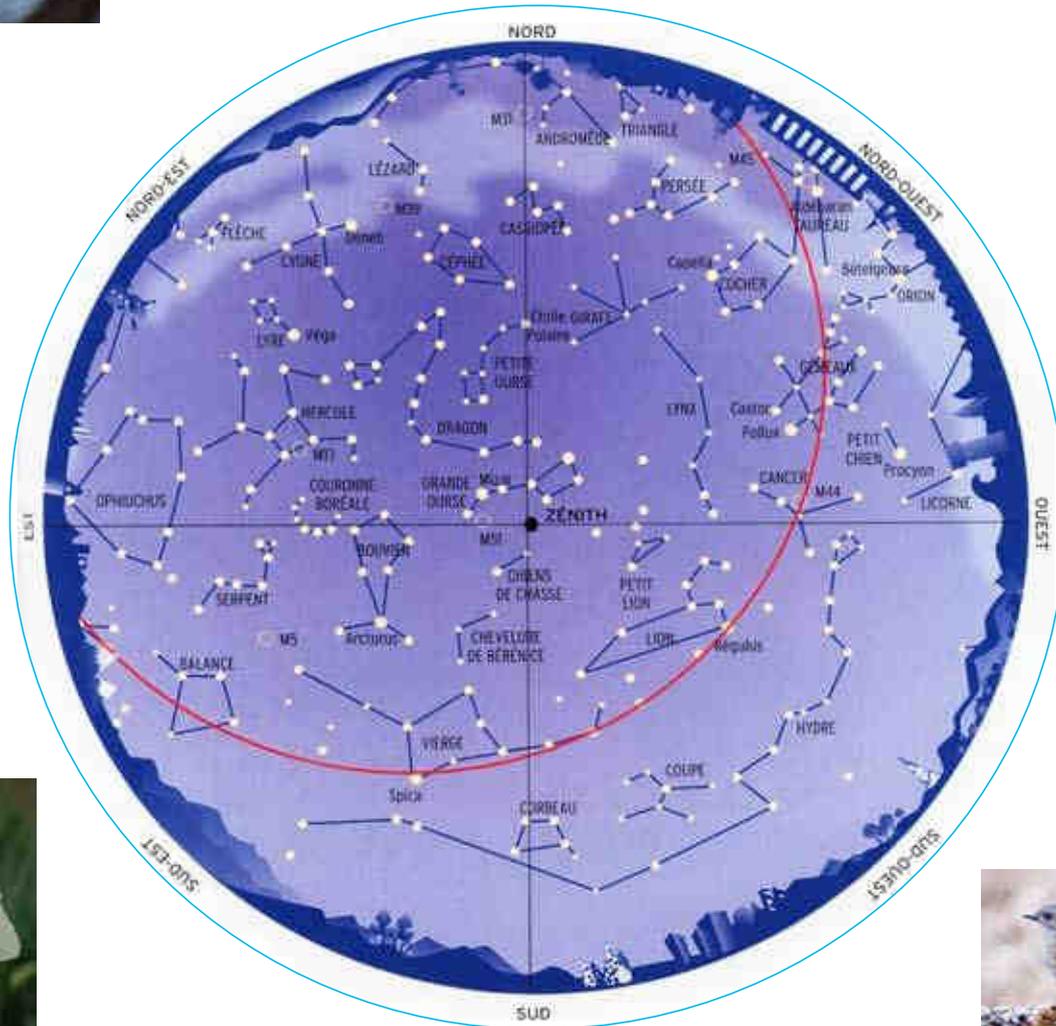


PHOTOS NUMÉRIQUES APPAREIL REFLEX avec téléobjectif de 300mm  
Éclipse totale de Lune 21.02.2008 *Photos B.D.N.*





## LE CIEL DU PRINTEMPS par Pierre FRANKHAUSER



*Carte issue du guide du ciel de Jean-Louis HEUDIÉRIÉ éd. France Loisirs*

Les premières fleurs apparaissent sur les amandiers, c'est le signal d'arrivée du printemps. Du ciel d'hiver, en direction de l'ouest, il ne reste plus qu'Orion, le Cocher, les Gémeaux, le Taureau.

A la fin du mois de mars, le passage à l'heure d'été et l'allongement des jours obligeront les amateurs à se coucher de plus en plus tard.

Le ciel de printemps est peu spectaculaire pour une observation à l'œil nu, cependant quelques objets méritent notre admiration.

-La géante rouge Arcturus (Alpha du Bouvier) ou la gardienne de l'Ourse, à 37 Al de nous, 25 fois plus grosse que le Soleil, et 110 fois plus lumineuse. On la situe en prolongeant la « queue » de la Grande Ourse par un arc en direction de l'équateur.

-Puis en continuant, la brillante Spica (l'épi) dans la constellation de la Vierge.

-Régulus, de couleur bleue, située sous la grande Ourse, magnitude 1,3 à 78 Al, cinq fois plus grosse que le Soleil, et 140 fois plus lumineuse. Cette étoile est située sur l'écliptique.

Ces trois étoiles Régulus, Spica et Arcturus, forment le triangle du printemps.

-L'Amas de la Crèche, ou M44, distant de 525 Al s'étend sur une région de 40 Al de diamètre. Il se voit très bien à l'œil nu dans un ciel noir. Cet amas ouvert est l'un des plus gros de la Galaxie, observé avec des jumelles, une vingtaine d'étoiles apparaissent nettement.

-Un autre amas, la Chevelure de Bérénice, s'étend sur 4°, c'est-à-dire huit fois le diamètre de la Lune.

A vos jumelles, bonnes observations. Les chaises longues resteront encore quelques temps au garage