

GYMNASE DE BURIER

MECANIQUE CELESTE

KÉPLER, RÖMER ET NEWTON – UNE FASCINATION



GYMNASE DE BURIER

MECANIQUE CELESTE

KÉPLER, RÖMER ET NEWTON – UNE FASCINATION

BURIER, LE 7 OCTOBRE 2005

DAMIEN DUCRET ET FLORIAN NICOLIER, 2M5

ILLUSTRATION DE COUVERTURE :

PHOTOMONTAGE DE CLICHÉS ET DESSINS DE LA PLANÈTE JUPITER

REMERCIEMENTS

Nos premiers mots vont aux personnes qui, par leurs connaissances en astronomie, en physique et en mathématiques, ont su nous prodiguer enthousiasme, curiosité et esprit scientifique, Bastien Confino, professeur d'astronomie à l'Université Populaire de Lausanne ainsi qu'à l'Ecole Romande d'Astronomie, médiateur scientifique à la Radio Suisse Romande et Rolf Wuethrich, Docteur Ingénieur es physique, Chargé de cours, Laboratoire de Systèmes Robotiques, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Vice-président de l'Astro Club Aigle et médiateur scientifique à l'Observatoire de Vérossaz.

Frédéric Bardin, André Debackère, Florent Losse, Grégory Giuliani, Axel Canicio, Vincent Mury, Bertrand Tièche, Anne-Marie Cordoba-Bavaud, Jean-François Weiber, Olivier Baumann et Michel Burnier ont contribué à leur manière à ce travail. Que dire sinon leur témoigner toute notre reconnaissance pour toute l'aide qu'ils nous ont apportée.

Notre reconnaissance va tout naturellement à notre professeur de physique, Didier Bonnaz, pour nous avoir offert la possibilité de réaliser cette étude.

Nous sommes également très reconnaissants à Jean-Louis Badin, Thierry Demange et Guy A. Ducret, papa de Damien, de nous avoir transmis avec ardeur une part de leur savoir-faire en imagerie numérique.

Nous remercions également Frédéric Graf, Président de l'Astro Club Aigle, Jean-Paul Hurlimann et Stéphane Kespy, qui ont relu des parties du manuscrit et nous ont fait part de leurs inestimables suggestions.

Nous n'en serions pas arrivés à ce point sans le soutien constant de nos parents.

TABLES DES MATIERES

LES AUTEURS		IV
INTRODUCTION		V
1	THÉORICIENS DU XVII^{ÈME} SIÈCLE	
	JOHANNES KÉPLER	1
	LOI DES ORBITES	2
	LOI DES AIRES	3
	LOI DES PÉRIODES	
	OLAÛS RÖMER	5
	LA GRANDE DÉCOUVERTE DE 1676	
	ISAAC NEWTON	6
	LOI D'ATTRACTION UNIVERSELLE	8
2	MESURE DU TEMPS AU XVII^{ÈME} SIÈCLE	9
3	INSTRUMENTS D'OBSERVATION ET DE FOCALISATION	
	LE TÉLESCOPE COMPACT SCHMIDT-CASSEGRAIN	10
	AVANTAGES	11
	DÉSAVANTAGES	12
	CARACTÉRISTIQUES OPTIQUES	13
	LE DISQUE D'HARTMANN	15
	LE DISQUE D'HARTMANN ET L'ALIGNEMENT DES OPTIQUES	16
	L'UTILITÉ DU DISQUE D'HARTMANN EN ASTROPHOTOGRAPHIE	17
4	IMAGERIE WEBCAM	
	GÉNÉRALITÉS	18
	LA WEBCAM	
	LE MONTAGE DE LA WEBCAM	19
	LES EFFETS DE LA TURBULENCE	
	LA FOCALISATION À L'AIDE D'UNE WEBCAM	
	LOGICIELS D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT D'IMAGES	20
	L'ACQUISITION	21
	LE TRAITEMENT	23
	APERÇU D'IMAGES PLANÉTAIRES	24
5	PLANETES	
	VISIBILITÉ DES PLANÈTES	25
	LES PLANÈTES INFÉRIEURES	
	LES PLANÈTES SUPÉRIEURES	
	PLANÈTES EN QUADRATURE	26
	JUPITER, PREMIÈRE PLANÈTE GAZEUSE DU SYSTÈME SOLAIRE	27
	VOCABULAIRE PARTICULIER UTILISÉ EN ASTRONOMIE PLANÉTAIRE	29

6	EXPLOITATION DES RESULTATS	
	JUPITER 2.0, PROGRAMME DE CALCUL D'ÉPHÉMÉRIDES	30
	CALCUL DE LA DISTANCE SÉPARANT DEUX POINTS DANS L'ESPACE	31
	CALCUL DU DIAMETRE DE JUPITER	33
	CALCUL DE LA MASSE DE JUPITER	34
	CALCUL DE LA VITESSE DE PROPAGATION DE LA LUMIÈRE	37
	SOURCES D'ERREURS ET DIFFICULTÉS RENCONTRÉES	41
7	CONCLUSION	42
8	BIBLIOGRAPHIES	43
9	GLOSSAIRE	44
10	ANNEXES	
10.1	COLLIMATION DU SCHMIDT-CASSEGRAIN AVEC LE DISQUE D'HARTMANN	I
10.2	ASTROSNAP EN TOUTE SIMPLICITE	II
10.3	COMMENT TRAITER VOS AVI AVEC IRIS	III
10.4	ÉPHEMERIDE DES SATELLITES DE JUPITER	IV
10.5	ÉPHEMERIDE DE LA GRANDE TACHE ROUGE DE JUPITER	VI

LES AUTEURS

DAMIEN DUCRET

Né en 1987, élève régulier du Gymnase de Burrier, Option math et physique 2M5, membre actif de l'Astro Club d'Aigle, c'est à l'âge de 13 ans que j'ai eu mon premier contact avec le monde de l'astronomie. A l'automne 2002, c'est sous le soleil provençal que j'ai été initié au maniement du Schmidt-Cassegrain, par l'équipe technique de l'Observatoire SIRENE à Lagarde d'Apt, sous la gouverne de Frédéric Bardin, Président Fondateur de l'Association **Silo RE**habilité pour **Nuits E**toilées, opticien astronomique au Laboratoire d'Optique de l'Observatoire de Marseille en mission, membre de l'Association nationale française pour la protection du ciel nocturne, membre de la rédaction d'Astrosurf Magazine, etc. En août 2003, un des objectifs de la mission Ducret sur le Plateau d'Albion était de tester ses premières webcams ToUcam Pro I au foyer du télescope paternel, un LX200 GPS de 254mm, ainsi qu'au foyer coudé du T635 de l'observatoire, sur quelques objets planétaires et autres objets de Messier. La qualité des images de l'opposition de Mars fut d'une si grande richesse qu'à la Nuit des étoiles de Lagarde d'Apt, les jeudi 7, vendredi 8 et samedi 9 août 2003, une des petites ToUcam Pro fut abondamment sollicitée par l'équipe technique. Aujourd'hui, au gré de mes voyages familiaux sur le Plateau d'Albion (Vaucluse), à Rocamadour (Triangle Noir des Causses du Quercy - Lot) et au col du Champ du Feu (Vosges), mes terres d'observation ont évolué. L'année 2005 me fera revivre dès novembre prochain et en famille, les émotions de l'opposition d'août 2003.

FLORIAN NICOLIER

Né en 1987, élève régulier du Gymnase de Burrier, Option math et physique 2M5, observateur du ciel nocturne en tant que fervent adepte du scoutisme, je suis tombé par hasard sur un livre de Damien qui portait le titre évocateur : Utilisation de la Webcam en Astronomie de Christophe Béthune, Editions Burillier. Sa lecture m'encouragea à vouloir comprendre le monde que Damien observait et photographiait certaines nuits. C'est sur les hauteurs de la Riviera vaudoise qu'il m'initia à l'astronomie planétaire. Courant de l'été 2004, Damien m'expliqua le maniement de son petit ETX-105 Maksutov-Cassegrain et plus tard, celui de son NexStar 11 GPS. En très peu de temps, j'ai été formé aux mystères de l'imagerie planétaire. Aujourd'hui, même si j'ai assimilé le savoir-faire en matière d'acquisition d'images numériques, j'ai encore cette passion d'observer une soirée entière quelques planètes et autres objets de Messier.

INTRODUCTION

Nous avons toujours été fascinés par diverses théories établissant des liaisons entre tel calcul et telle planète. La variété de ces associations nous a toujours surpris, étonnés.

L'histoire des civilisations nous démontre l'acharnement des hommes à vouloir rechercher l'harmonie du monde et accoler notes scientifiques et autres calculs aux planètes.

Képler, Römer et Newton, par leurs observations et leurs calculs comme tant d'autres avant eux, ont notamment retenu notre attention. A titre d'exemple, nous avons tenté d'expliquer, avec l'aide de scientifiques, de passionnés, d'ouvrages spécialisés et autres connaissances personnelles en astronomie, physique et mathématique, comment Römer détermina la vitesse de propagation de la lumière en observant la période de révolution sidérale des satellites galiléens de Jupiter à des distances Terre-Jupiter différentes.

Notre étude concerne à la fois l'astronomie, la physique et les mathématiques. Elle comprend :

- une brève partie consacrée aux auteurs ;
- une introduction ;
- une partie dédiée aux mathématiciens et astronomes Képler, Römer et Newton ;
- une partie résumant les problèmes liés à la mesure du temps au XVII^{ème} siècle ;
- une partie plus technique expliquant quelques instruments d'observation, d'acquisition, de focalisation et autres logiciels astronomiques ;
- une partie centrale qui est le coeur du travail. Partie qui arbore quelques notions d'astronomie, de physique et de mathématiques, tout en offrant quelques explications pertinentes sur divers calculs et autres résultats ;
- une dernière partie qui atteint la dimension volubile et fait le lien entre les parties précédentes ;
- des références bibliographiques ;
- un glossaire ;
- et quelques annexes.

METHODOLOGIE EMPLOYEE

La lecture de quelques articles scientifiques annonçant les grandes oppositions de Jupiter et de Mars en 2005, a été l'élément déclencheur. Phénomène excessivement rare, puisque la planète jovienne allait avoir une taille et une luminosité maximales le 3 avril 2005.

Bien que nos recherches sur les travaux de Képler, Römer et Newton aient déjà commencé à fin 2004, nous ne disposions que de quelques ébauches de réponses, toutes discutables et plus ou moins angoissantes. Sujet qui nous autorisait à reprendre l'énoncé mathématique de Römer pour déterminer la vitesse de propagation de la lumière, avec des instruments à la portée des astronomes amateurs, tout en appliquant les lois de Képler et de Newton.

Nonobstant un accueil bienveillant de la part de notre professeur de physique, le jour de la présentation de notre sujet d'étude, nous avons préféré ne pas trop y croire. Examinant quelques autres options liées à la physique, nous avons été agréablement surpris à l'annonce de l'acceptation de notre sujet d'étude.

Sans tarder, nous avons pris immédiatement contact avec d'éminents scientifiques et leur avons présenté notre sujet d'étude. Avec grande amabilité, ils nous ont offert leurs services, tant en astronomie, qu'en physique et mathématique.

Nous avons bien vite réalisé que les réponses à nos interrogations ne se trouvaient pas ou peu dans les livres que nous avons à disposition, mais derrière un télescope.

Comme Képler, Römer et Newton, nous avons passé des nuits entières à observer Jupiter et les quatre grands satellites galiléens, Io, Europe, Ganymède et Callisto, tout en prenant soin de consigner les heures de nos observations et autres acquisitions numériques.

De janvier à août de cette année 2005, ces activités ont été la partie la plus intéressante, la plus enrichissante et la plus pénible de notre travail en dehors du travail rédactionnel. En plus de nos observations, nous avons réalisé plusieurs dizaines de petits films numériques au format vidéo Windows AVI. Parfois, nous étions si frigorifiés et si fatigués que nous aurions préféré que le ciel nous tombe sur la tête ou ne pas avoir cours le lendemain. Nous avons mis à profit les jours de mauvais temps pour traiter nos films à l'aide du logiciel à tout faire, Iris. L'examen rigoureux des images produites, nous a montré, qu'environ 90 % étaient inutilisables, et qu'un petit 5 % était vraiment extraordinaire et pouvait améliorer grandement la précision de nos calculs. Le résultat peut paraître frustrant, mais la mécanique céleste est une branche vivante de l'astronomie qui s'intéresse à la description du mouvement des étoiles et autres planètes à l'aide de théories physiques et mathématiques.

Si l'on tient compte qu'une petite dizaine de nuits par an permettent de faire de l'astrophotographie avec une webcam et un télescope de moins de 300mm de diamètre, les nuits du 5 au 6 février (Baugy s/Clarens), du 17 au 18 mars (Mont-Pélerin) et du 5 au 6 juillet 2005 (Les Alpettes s/Semsaies) furent extraordinaires pour l'acquisition d'images. Les détails des larges bandes de latitude et de l'anticyclone de Jupiter étaient purs et tranchants, la bordure des lunes joviennes bien contrastée. Toutes les nuits ne furent pas aussi exceptionnelles.

L'ambiance de ces nuits joviennes subsiste et subsistera encore pour longtemps dans les mémoires. Même si les résultats scolaires reflètent à merveille la difficulté de cette étude et n'ont pas été à la hauteur des espérances des auteurs, il n'y a rien à regretter. Nous avons rencontré des passionnés et des scientifiques vraiment ouverts. A nos interrogations, ils nous ont donné chacun des réponses claires et précises, et nous ont encouragé dans la difficulté, jusqu'au dernier jour.

Aux esprits curieux qui cherchent à comprendre quelques données liées à l'astronomie en général, à l'astrophotographie numérique et à la mécanique céleste en particulier, nous souhaitons que cette étude leur apporte un peu de lumière.

THÉORICIENS DU XVII^{ÈME} SIÈCLE

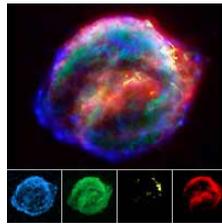
JOHANNES KÉPLER (1571-1630)



Képler est né le 27 décembre 1571 à Weil près de Stuttgart (Bade-Wurtemberg). Bien que de famille modeste, il obtient à l'âge de 20 ans son premier diplôme à l'Université de Tübingen où ses aptitudes mathématiques furent remarquées par son professeur d'astronomie Michael *Maestlin*¹. Képler fut initié aux théories de Nicolas *Copernic*² par Maestlin. En 1594, alors qu'il est en dernière année de théologie, il est nommé professeur de mathématiques à l'école protestante de Graz (Autriche). A cause de son attachement à la foi protestante, il est chassé de la ville.

En 1599, il s'exile à Prague (ancienne capitale de Bohême, aujourd'hui Tchéquie) pour travailler en tant qu'assistant de Tycho *Brahé*³. A la mort de ce dernier, il hérite des innombrables tableaux de mesures rassemblés par son maître. Bénéficiant des excellentes observations astronomiques de Brahé, il va résoudre successivement les différents paramètres de l'orbite de Mars. Le point d'orgue de ses travaux en Bohême fut la publication d'*Astronomia Nova* (Nouvelle Astronomie, 1609). Ce traité contient les formulations de deux des lois du mouvement planétaire qui ont immortalisé son nom.

Le 17 octobre 1604, Képler observe la dernière explosion d'une *supernovae*⁴ dans la constellation Ophiucus ou du Serpente. Constellation boréale située dans la voie lactée et visible en été. Il envoie à son ami et célèbre astronome florentin, Galileo Galilei, une lettre enthousiaste sur ses découvertes.



SN 1604 ou étoile de Kepler⁵

¹ Michael Mästlin (1550-1631). Mathématicien et astronome allemand, professeur de Képler
² Nicolas Copernic, chanoine polonais, de son vrai nom Mikolaj Kopernik (1473-1543), Dr en médecine et en droit canon, mathématicien et grand astronome. En 1543, dans son ouvrage : *De revolutionibus orbium caelestium* ou "De la révolution des sphères célestes", Copernic pose les fondements du système héliocentrique qui fait que le Soleil est au centre du système solaire et que les planètes orbitent autour.

³ Tycho Brahé (1546-1601), astronome, astrologue et alchimiste danois. Il rédigea un catalogue de mille étoiles et consigna quelques mesures très précises sur la position des planètes.

⁴ Glossaire ; page 51

⁵ Source : NASA Solar System Exploration

En 1612, Képler retourne en Haute-Autriche. A Linz, il énonce sa troisième loi en 1618. Épuisé par la fatigue de ses multiples voyages, il décède dans la misère le 15 novembre 1630 à Regensburg sur le Danube (Bavière).

Képler a été un auteur très prolifique. Aujourd'hui, il est reconnu comme celui qui a écrit le premier roman de science-fiction décrivant un voyage en direction de la Lune.

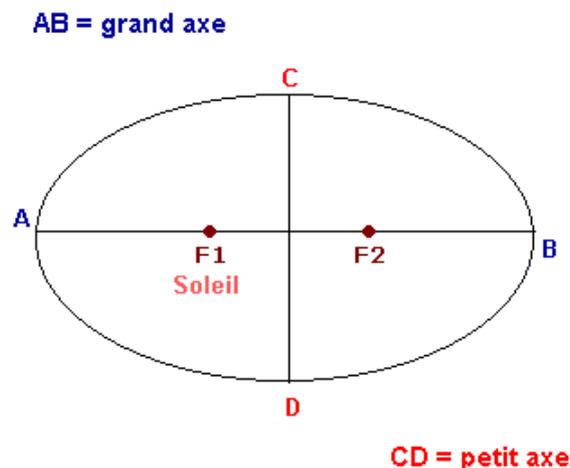
Les *Tables rudolphines*¹ de Képler sont basées sur les observations de Tycho Brahé. Grâce à la construction d'une table de logarithmes beaucoup plus pratique, pour une même précision décimale, Képler n'effectuait qu'une trentaine d'extractions de racines carrées. Les calculs ultérieurs sont beaucoup plus directs et simples. Elle fut publiée à Marburg en 1624 dans *Chilias logarithmorum*, sous le titre *Mille Logarithmes*². Les lois de Képler restèrent fort longtemps précises. Leur succès fit beaucoup pour la reconnaissance du système *héliocentrique*³.

Képler s'attacha à déterminer le repérage des astres et décrivit les propriétés principales du mouvement des planètes autour du Soleil.

Loi des orbites ou première loi (1604)

Les planètes se déplacent autour du Soleil selon des ellipses dont un des foyers est le siège du Soleil.

L'ellipse est une courbe telle que la somme des distances à deux points fixes (appelés foyers) est constante. L'excentricité⁴ de l'ellipse est le rapport $E = F_1F_2 / AB$, où F_1F_2 est la distance séparant les deux foyers et AB est la mesure du grand axe :



Une excentricité nulle correspond à un cercle. Pour la Terre, l'excentricité de l'orbite est très faible (0.017) donc difficilement observable.

¹ Les tables de logarithmes ou "*Tables Rudolphines*" sont à la base de la découverte des lois du mouvement et de la loi de l'attraction universelle. Elles donnent, entre autre, la position de 1'005 étoiles. Bibliographie ; page 43.

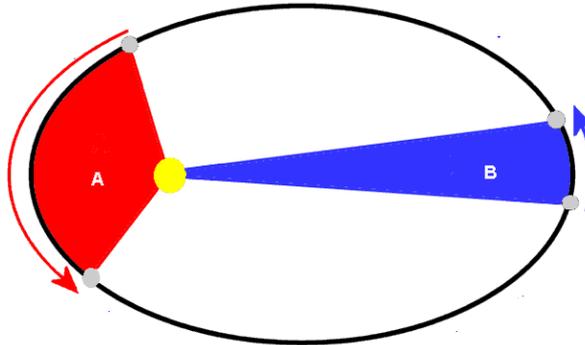
² Bibliographie ; page 43

³ Le système héliocentrique de Copernic est en tout point différent du système géocentrique d'Aristote et Ptolémée. Il a pour théorie que les planètes tournent autour du Soleil et non le contraire.

⁴ Dessin réalisé par les auteurs

LOI DES AIRES OU DEUXIÈME LOI (1605)

La planète prendra le même temps à parcourir la trajectoire rouge qu'elle en prendra pour parcourir la trajectoire bleue car les aires **A** et **B** sont égales¹.



Cela signifie que les planètes vont plus vite quand elles sont proches du Soleil et plus lentement lorsqu'elles s'en éloignent. La vitesse la plus élevée est ainsi atteinte au *périhélie*² et la plus faible à l'*aphélie*³.

LOI DES PÉRIODES OU TROISIÈME LOI (1618)

Cette troisième loi établit que **le carré de la période de l'orbite d'une planète est proportionnel au cube de la distance au Soleil**.

Si deux planètes ont des périodes orbitales T_1 et T_2 , en jours ou en années et des distances moyennes au Soleil A_1 et A_2 , la formule exprimant la troisième loi s'énonce :

$$(T_1/T_2)^2 = (A_1/A_2)^3$$

Pour l'exemple, supposons que la planète 2 soit la Terre et que les durées soient en années. Donc $T_2 = 1$ (année) et comme on peut mesurer toutes les distances en *unités astronomiques*⁴ (ua), distance moyenne du Soleil à la Terre, $A_2 = 1$ (ua). Dès lors cette loi vaut aussi pour n'importe quelle autre planète,

$$(T_1)^2 = (A_1)^3$$

Du moment que nous savons que la Terre est à environ 150 millions de km du Soleil (= 1 ua), il est facile de calculer, en utilisant la troisième loi de Képler et en sachant que Jupiter met environ 12 ans à boucler une *orbite*⁵ autour du Soleil, que sa distance est d'environ 5.2 unités astronomiques ou 780 millions de km.

Cette loi a été développée par Képler de nombreuses années après les deux premières. On la retrouve dans un ouvrage intitulé *Harmonies du monde*⁶.

1 Dessin réalisé par les auteurs
 2 Glossaire ; page 51
 3 Glossaire ; page 44
 4 Glossaire ; page 52
 5 Glossaire ; page 50
 6 Bibliographie ; page 43

Si Képler avait vécu à notre époque, il aurait pu imaginer la *table*¹ ci-dessous en supposant que $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ (constante de proportionnalité, appelée constante de gravitation) lui soit connue. Mais au XVII^{ème} siècle, Képler n'avait pas les moyens de déterminer les distances absolues au sein de notre système solaire. Cela montre à l'évidence, le génie de cet homme dans l'énoncé de ses calculs pour s'en convaincre.

planète	a * demi grand axe en 10 ³ km ou 10 ⁶ m	T* période de révolution en jour	T période de révolution en 10 ⁶ s	T ² /a ³ en jour ² .km ⁻³	T ² /a ³ en s ² .m ⁻³
Terre	149600	365,26	31,47226264	3,98483.10 ⁻¹¹	2,95843.10 ⁻¹⁹
Mars	227940	686,98	59,19294472	3,98498.10 ⁻¹¹	2,95855.10 ⁻¹⁹
Jupiter	778330	4332,71	373,3236244	3,98133.10 ⁻¹¹	2,95583.10 ⁻¹⁹

* Ces valeurs sont à convertir en secondes et en mètres.

On note que T^2/a^3 est une constante mais que cette constante dépend de l'astre attracteur.

On a $T^2/a^3 = 4\pi^2/GM$, où G est la constante de gravitation universelle :

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

Si l'on tient compte des résultats du tableau ci-dessus, il est donc possible de déterminer la masse des planètes et autres astres. Pour l'exemple :

Soleil : $M_S = 2,00 \cdot 10^{30}$ kg
 Jupiter : $M_J = 1,90 \cdot 10^{27}$ kg

¹

Table réalisée par les auteurs sur base des données de la NASA Solar System Exploration

OLAÛS RÖMER (1644-1710)

Römer est né le 25 septembre 1644, à Copenhague. De 1662 à 1671, il étudie les mathématiques à l'Université de Copenhague. En 1672, l'abbé Jean Picard lui demande de venir à Paris pour enseigner les mathématiques au Dauphin de France. En 1674, il entre à l'Académie des sciences. Pendant son séjour à Paris, Römer fit cette grande découverte que la lumière a un mouvement successif (autrement dit qu'elle ne se propage pas instantanément et qu'on peut lui donner une vitesse).

Römer quitte la France, comme *Huygens*¹, à l'aube de la révocation de l'édit de Nantes par Louis XIV. En 1679, l'astronome danois se rend en Angleterre pour un séjour de deux ans au cours duquel il va croiser Isaac Newton et Edmond Halley. De retour au Danemark, Frédéric IV lui confère en 1681 le titre de mathématicien royal. Il est nommé directeur des monnaies, inspecteur des arsenaux et des ports, puis Conseiller d'État. Römer fut aussi maire de Copenhague.

LA GRANDE DÉCOUVERTE DE 1676

L'observation des satellites galiléens de Jupiter faite par Römer et par Jean-Dominique *Cassini*² présenta une inégalité dans le mouvement du premier satellite. Les émergences hors de l'ombre ou les immersions observées pour ce satellite retardaient ou avançaient régulièrement sur leurs calculs. Cassini expliqua ces différences par le fait que la lumière du premier satellite met environ dix ou onze minutes pour parcourir un espace égal au demi diamètre de l'orbite terrestre. Cassini abandonna cette idée pour d'obscures raisons. Römer démontra en 1675, que la vitesse de la lumière était finie et que les *Tables*³ de Cassini ne correspondaient qu'à l'instant où Jupiter et la Terre étaient en *quadrature*⁴. En septembre 1676, Römer informa les membres de l'Académie royale des sciences de Paris que la prochaine éclipse du premier satellite de Jupiter, prévue pour le 9 novembre entre 17 h et 18 h, se produirait avec plusieurs minutes de retard. Mandaté par l'Académie royale, l'abbé Jean *Picard*⁵ confirmera les prévisions de Römer.

De tous les satellites galiléens, Römer reprit Io pour parfaire ses calculs. Io présentait l'orbite la plus proche du cercle parfait et sa révolution autour de Jupiter se faisait en 1 jour 18 heures 27 minutes et 33 secondes. Römer détermina que la vitesse de propagation de la lumière était de $214\,300\text{ km/s}$ ⁶.

¹ Mathématicien, physicien, astronome hollandais (1629-1695), fondateur et membre de l'Académie royale des sciences de Paris. Il sera à l'origine de nombreuses avancées et découvertes scientifiques.

² Astronome italien naturalisé français (1625-1712), né à Périnaldo, comté de Nice. Il réalisa l'Observatoire de Paris. Cassini a donné naissance à une véritable dynastie d'astronomes.

³ Tables publiées par Cassini dans *Ephemerides Bononienses medicorum siderum* (1688)

⁴ Page 26

⁵ Abbé et astronome de nationalité française (1620-1682, père de la géodésie, fondateur et membre de l'Académie royale des sciences de Paris.

⁶ Aujourd'hui, la vitesse de propagation de la lumière est donnée à $299\,792.457777\text{ km/s}$

ISAAC NEWTON (1642-1727)

Isaac Newton est né le 25 décembre 1642 à Woolsthorpe dans le Lincolnshire, Angleterre. Cette même année 1642, Galilée décède...

Bien qu'il fréquente l'école libre de Grammar School à Grantham, mieux connue sous le nom de King's School, sa scolarité est plus ou moins houleuse. Newton, alors âgé de 16 ans, doit quitter l'école pour reprendre la gestion du petit domaine familial qui avait été offert à sa mère par son beau-père. Piètre fermier, il reprend ses études à Grantham et entre à l'âge de 18 ans au Trinity College de Cambridge. En 1665, il obtient le grade de Bachelor of arts. Alors que la peste s'abat sur la ville, il se réfugie à Woolsthorpe.

C'est durant cet exil forcé que Newton développe ses principales thèses, particulièrement en optique, en s'appuyant notamment sur les travaux de Galilée, Descartes et Képler.

De retour à Cambridge, Newton acquiert d'autres grades universitaires et obtient en 1669 la chaire de mathématiques.

De 1666 à 1680, Newton va effectuer de nombreuses recherches et autres études. En 1669, il rédige un exposé sur les fondements du calcul infinitésimal. Célèbre astronome, Newton perfectionne son *télescope*¹. Le principe de l'instrument est simple, les rayons lumineux traversent le tube du télescope pour aller se réfléchir sur le miroir primaire sphérique dénué d'aberrations chromatiques, pour ensuite se projeter à 90°, par l'intermédiaire d'un miroir secondaire, sur l'oculaire placé dans une ouverture latérale. La mise au point de l'image se faisant par un simple déplacement de l'oculaire sur son support. Le télescope qui portera désormais son nom sera envoyé en 1671 à la Royal Society de Londres par ses amis professeurs.

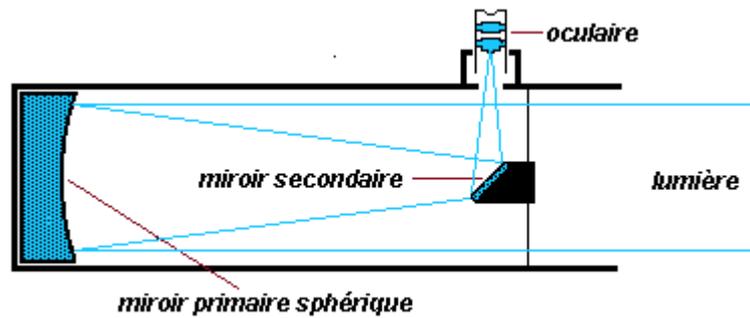


Réplique exacte du télescope 75mm F/d 4,5 d'Isaac Newton²

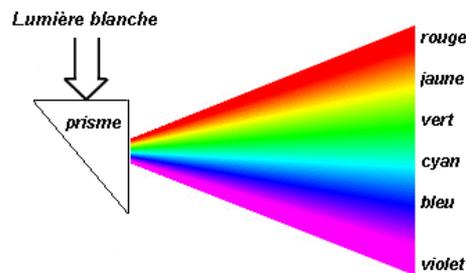
¹

²

Aujourd'hui, le télescope d'Isaac Newton est l'instrument d'initiation le plus répandu
Source : Réal Manseau, pressier-imprimeur, Drummondville, Québec, Canada. Réal Manseau est membre de la Société Royale d'Astronomie du Canada, membre fondateur de la Commission des Cadrons solaires du Québec.

Schéma optique du télescope Newton¹

Cette vénérable société lui ouvre ses portes en 1672. Encouragé par quelques membres, le physicien Newton va prouver, à l'aide d'un *prisme*², que la lumière blanche est une addition de lumières colorées, que les rayons de lumière continuent en ligne droite après diffraction dans le prisme.



Il va compléter ses travaux sur la lumière en exposant sa *théorie corpusculaire de la lumière*³, cette théorie sera passagèrement abandonnée jusqu'au XIX^{ème} siècle.

Pour d'obscures raisons, Newton va cesser ses travaux. Il faudra la visite, en août 1684, de l'astronome britannique Edmund *Halley*⁴, pour le relancer. Trois ans après la visite d'Halley, Newton publie son œuvre maîtresse : *Philosophiae naturalis principia mathematica*⁵. Cette œuvre, divisée en trois parties, renferme les processus du raisonnement en philosophie, un grand nombre de découvertes en mathématiques et en physique, l'énoncé des trois lois du mouvement et de la loi de l'attraction universelle.

En s'appuyant sur l'exactitude des lois de Képler, Newton va parvenir à donner une expression mathématique à la loi de l'attraction ou gravitation universelle.

¹ Dessin réalisé par les auteurs

² Dessin réalisé par les auteurs

³ La théorie enseigne que la lumière est composée de particules ou corpuscules n'ayant pas de masse (baptisés photons par Albert Einstein). Les photons sont des particules d'énergie qui sont émises par une source lumineuse. A titre d'exemple, une étoile est une source lumineuse.

⁴ Astronome et physicien britannique (1656-1742). Il observa en 1682 la comète qui porte aujourd'hui son nom : la comète de Halley. Il en détermina la périodicité. Halley fut le premier à comprendre que certaines comètes sont périodiques et d'autres pas. Admis à la Royal Society de Londres, il en deviendra le secrétaire perpétuel. Il sera nommé professeur de géométrie à Oxford et deuxième directeur de l'Observatoire de Greenwich.

⁵ Cette œuvre sera traduite en français par la mathématicienne Gabrielle Emilie le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet, sous le titre : *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*.

LOI D'ATTRACTION UNIVERSELLE

Deux corps quelconques de masses m_1 et m_2 placés à une distance d l'un de l'autre s'attirent mutuellement avec une force :

$$F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / d^2$$

Dans l'équation ci-dessus :

F est la force de gravitation liant deux corps

G est une constante universelle égale à : $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$

m_1 et m_2 sont les masses des deux objets

d est la distance qui les sépare.

A partir de sa loi, Newton va expliquer mathématiquement de nombreux phénomènes, comme celui de la marée qui est due à la force d'attraction de la Lune sur la Terre.

Courant 1693, Newton sombre dans un état dépressif. Est-ce que la querelle qui l'oppose au philosophe et physicien Robert *Hooke*¹ est l'élément déclencheur, rien n'est moins sûr. Selon ses médecins, Newton présente tous les symptômes d'une intoxication aux vapeurs de plomb. Il va abandonner ses charges à la Chambre des Communes et à Cambridge. Après une très longue convalescence, il revient à Londres. En 1703, il est élu président de la Royal Society, titre qu'il va conserver jusqu'à sa mort. Il sera fait chevalier par la reine Anne d'Angleterre en 1705.

En physique, on retrouve son nom dans les tableaux des unités dérivées du Système international d'unités (SI)², comme l'unité de force, le newton, symbolisé par la lettre : N ou l'unité de moment d'une force, le newton-mètre, symbolisé par les lettres : N.m et l'unité de tension superficielle, le newton par mètre, symbolisé par les lettres : N/m.

Il est à noter que Newton s'est adonné à l'alchimie et à la théologie. A ce propos, il passera des années à déterminer, à l'aide de quelques ouvrages bibliques, la date de la fin du monde. Heureusement pour nous, sans réussite.

Isaac Newton fait partie de ces génies dont la science peut s'honorer.

¹ Astronome, philosophe, chimiste et physicien anglais (1635-1703), membre puis secrétaire de la Royal Society de Londres, Hooke est l'auteur de la loi sur l'élasticité des corps solides. Jusqu'à sa mort en 1703, il sera le principal contradicteur de Newton.

² Bureau International des Poids et Mesures, créé à Paris en 1875 par dix-sept Etats. Il a son siège dans le Pavillon de Breteuil, Parc de Saint-Cloud à Sèvres, banlieue ouest de Paris. Le BIPM a pour mission d'assurer l'unification mondiale des mesures physiques et d'assurer leur traçabilité au Système international d'unités (SI).

MESURE DU TEMPS AU XVII^{ÈME} SIÈCLE

Historiquement, la mesure du temps est profondément liée à l'histoire de l'astronomie. La grande invention de l'horloge mécanique date de l'an 725, elle est attribuée à un Chinois, I Hing. Il créa le premier système de ralentisseur de chute du poids moteur. La première horloge mécanique du monde occidental est signalée en 1283, dans l'enceinte du Prieuré Dunstable, Londres. L'horloge rythmait les périodes des prières et autres offices des chanoines d'Austin. Il faut attendre le début du XIV^{ÈME} siècle, pour découvrir le premier régulateur ou échappement à *foliot*¹, ainsi que le premier cadran mobile indiquant les heures. Vers 1450, développement du "ressort-moteur", enroulé en spirale à l'intérieur du barillet. Le "ressort-moteur" remplacera avantageusement la corde lestée.

Fin du XVI^{ÈME} siècle, Galilée remarque l'intérêt du mouvement régulier du pendule, mais c'est Christian Huygens qui solutionne les problèmes liés à l'utilisation du pendule dans la construction des horloges. En 1657, sur ses indications, son compatriote, Salomon Coster met au point la première horloge à pendule pesant. La précision de l'instrument donne une dérive journalière inférieure à "quinze" *minutes*². Huygens poursuit ses recherches.

En 1675, Isaac *Thuret*³ réalise pour Huygens, la première horloge portable à *ressort spiral réglant*⁴, accouplé à un balancier annulaire monométallique à échappement à *double balancier*⁵. Bien que leur horloge donne une dérive théorique du temps, inférieure à la "minute" sur une journée, Huygens et Thuret constatent rapidement que le ressort *spiral* réglant en acier supporte très mal les variations de *température*⁶. Dès que la température augmente d'un degré, leur horloge accroît sensiblement son retard. Huygens et Thuret ne trouveront pas la solution à cette bizarrerie mécanique. Il faudra attendre le XIX^{ÈME} siècle pour résorber l'*anomalie*⁷...

Aujourd'hui, il est facile d'établir qu'après une sensible élévation de la température ambiante, l'horloge portable d'Huygens et de Thuret devait inévitablement retarder de plusieurs minutes. En résumé, nous pouvons aisément dire que les heures données pour l'expérience de Römer ne sont qu'approximatives !



Horloge à ressort spiral réglant accouplé à un balancier annulaire à échappement à ancre⁸

¹ Système de régulation du mouvement à balancier oscillant donnant le rythme régulier au cadran mobile de l'horloge

² Le cadran moderne avec indication des heures et des minutes ne sera développé qu'en 1691, par le grand horloger londonien Daniel Quare (1649-1724). L'histoire de l'ajout de l'aiguille des secondes sur le cadran de Quare sera plus contemporaine.

³ Horloger de Louis XIV, membre de l'Académie royale des sciences, Paris

⁴ Le spiral est un petit ressort ayant la forme d'une spirale. Il a pour charge de régulariser le mouvement du balancier d'un mouvement horloger.

⁵ Invention du savant Robert Hooke en 1675. Il inventera l'échappement à ancre en 1680.

⁶ Différence de température ambiante estimée à +/- 10 degrés entre le jour et la nuit

⁷ Ce n'est qu'en 1896, qu'un horloger suisse, Charles-Edouard Guillaume, né le 15 février 1861 à Fleurier (Neuchâtel), Prix Nobel de physique en 1920, découvre l'Invar, alliage de fer-nickel à dilatation invariable. Ce nouvel alliage allait résoudre l'irrégularité de fonctionnement des horloges due aux variations de température.

⁸ Source : Musée international d'horlogerie, La Chaux-de-Fonds

INSTRUMENTS D'OBSERVATION ET DE FOCALISATION

LE TÉLESCOPE COMPACT SCHMIDT-CASSEGRAIN

Le prêtre et professeur de physique français Laurent Cassegrain (1629-1693) inventa en 1672 un télescope utilisant un miroir secondaire convexe et non plus concave renvoyant vers le miroir principal, grâce à un trou central, les rayons lumineux. Ainsi, l'observateur se plaçait derrière le tube, exactement comme avec une lunette.

Bernhard Schmidt (1879-1935), opticien allemand attaché à l'observatoire de Hamburg-Bergedorf, repris quelques travaux de Jean Cassegrain et introduisit une lame correctrice, dite lame de Schmidt, destinée à corriger l'*aberration de sphéricité*¹ et autre défaut induits par le miroir principal ou primaire, de forme sphérique. La lame de Schmidt permit d'obtenir des images excellentes sur des champs très étendus en ciel profond. De nombreux télescopes équipés de la lame de Schmidt ont été installés à travers le monde, dont le plus grand à l'Observatoire du Mont Palomar. La lame de 1200 mm de diamètre pour un miroir principal sphérique de 1800 mm. Cette lame a vu sa première lumière en 1948.

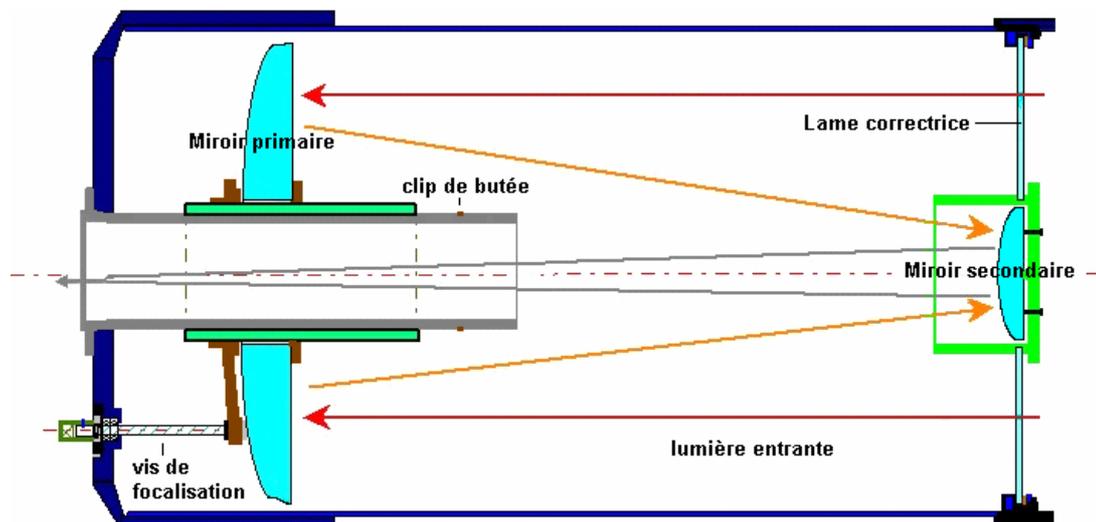


Schéma optique du télescope catadioptrique compact Schmidt-Cassegrain²

Il combine l'utilisation de lentilles et de miroirs. La lumière traverse tout d'abord une mince lame correctrice dont les faces sont asphériques, de manière à dévier imperceptiblement la lumière. Puis, le miroir primaire parabolique, au fond du tube, concentre à son tour la lumière en direction du miroir secondaire convexe qui renvoie la lumière à l'arrière du tube, par le centre du miroir primaire, sur le renvoi coudé et l'oculaire.

Dans leur version astronomique, la mise au point s'effectue en général en déplaçant le support ou barillet du miroir primaire au moyen d'une molette.

Aujourd'hui, ce type de télescope est le plus populaire, il dérive à la fois de celui présenté en 1672 par le Français Laurent Cassegrain et de celui mis au point en 1931 par l'Allemand Bernhard Schmidt.

¹ Glossaire ; page 49

² Thomas Johnson, fondateur de la firme Célestron (USA)

C'est dans les années 1950 qu'un *ingénieur*¹ américain, grand passionné d'astronomie, reprend et retouche les plans de *LOMO*² pour réaliser le premier télescope Schmidt-Cassegrain compact du monde occidental. Début 1972, son célèbre C5 orange est commercialisé à travers le monde à plus de 100'000 unités, tous diamètres confondus. Son compact C5, longueur focale de 1250mm, *rapport F/d*³ = 10, était monté sur une monture *alt-azimutale*⁴ à fourche

Dès 1972, de nombreux autres fabricants, comme son concurrent américain Meade, en ont repris le concept.



Célestron C5⁵

AVANTAGES

Le compact Schmidt-Cassegrain, fixé sur une monture alt-azimutale à fourche, est polyvalent. Il combine les avantages optiques des lunettes et des télescopes en réduisant la plupart de leurs inconvénients.

La cellule optique étant très compacte, le Schmidt-Cassegrain est facilement transportable jusqu'à une ouverture de 300mm. Au-delà, le poids de la fourche et du tube optique ne permet plus un déplacement sans aide.

Le tube optique étant fermé par une lame correctrice convexe et asphérique ou élément grossissant qui multiplie la focale du miroir primaire placé au fond du tube, la turbulence interne de l'air est réduite au maximum et par analogie, une dégradation supplémentaire de l'image est évitée.

Le rapport focal standard du Schmidt-Cassegrain est de 1:10 ou F/d 10 et peut facilement être réduit à 1:6,3 ou F/d 6,3 ou voire doublé sinon triplé au moyen de bagues optiques additionnelles (*correcteur-réducteur de champ*⁶ et autre *lentille de Barlow*⁷).

¹ Thomas Johnson, fondateur de la firme Célestron (USA)

² Lomo Optics PLC, Saint-Petersbourg (Russie) fabrique, depuis 1938, des télescopes Schmidt-Cassegrain sur monture alt-azimutale à fourche pour les astronomes amateurs.

³ Glossaire ; page 51

⁴ Glossaire ; page 44

⁵ Source : Jean-Louis Badin, Noisy-le-Grand, France, secrétaire du Groupement Français pour l'Observation et l'Etude du Soleil (*GFOES*)

⁶ Glossaire ; page 46

⁷ Glossaire ; page 49

Un contrôle, par processeurs, de la coordination GPS des servomoteurs, commandant la rotation autour des axes et la mise à niveau de l'instrument, assure un pointage de très grande précision sur quelques objets du ciel, grâce à la détermination exacte des coordonnées du lieu de travail.



M42, nébuleuse d'Orion, 18 mars 2005¹

En règle générale, le compact Schmidt-Cassegrain, fixé sur une monture alt-azimutale à fourche, est facile à utiliser. Sa raquette de guidage *Go-To*² est ergonomique et intuitive.

La maintenance est simple, mis à part une *collimation*³ du miroir secondaire à refaire de temps à autre, suite à quelques déplacements malheureux.

DÉSAVANTAGES

Le Schmidt-Cassegrain se prête mal pour faire de l'astrophotographie très longues poses, en raison du *filé d'étoiles*⁴. Mais aujourd'hui, les progrès mécaniques, électroniques et photographiques sont tels que le filé d'étoiles est à peu près annihilé avec l'utilisation d'un *de rotateur*⁵ de champ. Ce défaut n'est plus perceptible en imagerie planétaire.

Toutefois, nous rappellerons que pour quelques mesures scientifiques (étoiles doubles et autres objets), la rotation de champ reste un obstacle majeur et nécessite l'acquisition d'une *table* ou d'une *monture équatoriale*⁶ complémentaire. En effet pour simuler le mouvement sidéral des objets du ciel, ce système doit compenser trois axes, ce qui provoque une rotation du ciel autour du centre optique.

Le télescope Schmidt-Cassegrain a aussi un autre gros « défaut », l'*obstruction*⁷. Elle est représentée par le miroir primaire qui bloque la partie centrale du faisceau lumineux. Elle se calcule en divisant le diamètre du miroir secondaire par le diamètre de la lame correctrice.

¹ Photographie de Guy A. Ducret, Baugy s/Clarens, membre de l'Astro Club Aigle, au Canon EOS 20D et objectif de 300mm f/2.8 montés en parallèle sur un Schmidt-Cassegrain NexStar 11 GPS - 280mm - F/d 10, monture à fourche alt-azimutale, 6 poses de 90 sec et 6 poses de 30 sec, dark en mode automatique, mode RAW, 800 ISO, traitement sous Iris.

² Glossaire ; page 47

³ Glossaire ; page 45

⁴ Glossaire ; page 48

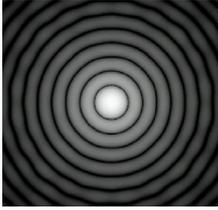
⁵ Glossaire ; page 46

⁶ Glossaire ; pages 49 et 51

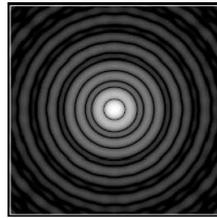
⁷ Glossaire ; page 50

Les effets de l'obstruction sont de deux ordres :

- a) la quantité de lumière captée par l'instrument est diminuée,
- b) le contraste de l'image fournie par l'instrument est modifié.



*image*¹ représentant une étoile ponctuelle en plage extra focale ou défocalisée, les anneaux de diffraction du disque d'Airy² (faux disque) deviennent visibles. Dans ce cas de figure, l'obstruction est nulle ou à 0%



obstruction à 30%

La quantité d'obstruction varie selon les télescopes. Elle dépend du principe optique lié au genre de télescope et de certains choix de réalisation liés notamment au champ de pleine lumière sans vignettage. La valeur de l'obstruction varie habituellement, en pourcentage du diamètre de l'instrument, soit de 15 % à 35 %. Certains instruments dédiés à la photographie du ciel profond peuvent présenter une obstruction supérieure à 40 %.

CARACTÉRISTIQUES OPTIQUES

Utilisés avec de faibles rapports focaux, tous les Schmidt-Cassegrain présentent un léger défaut de *coma*³. Pour améliorer leurs performances, il est nécessaire d'utiliser une lentille correctrice auxiliaire. Cet accessoire est connu sous le nom de correcteur-réducteur de champ. Tout en "accélération" les qualités intrinsèques des Schmidt-Cassegrain, il en aplanit le champ de courbure et repousse au loin l'essentiel de ce défaut.

En résumé, un miroir très ouvert (à F/d 4 par exemple) aussi bon soit-il, présente sur une image photographique une aberration appelée coma.

Aujourd'hui, force est de constater que, peu de fabricants communiquent les limitations de champ de pleine lumière de leurs optiques et, il faut savoir qu'un grand nombre de Schmidt-Cassegrain de bas et milieu de gamme, vendus en grandes surfaces, présentent une lame correctrice en dehors de toutes tolérances.

Cela signifie que ces télescopes ne corrigeront jamais la coma parce que les tests optiques actuels sont dans l'incapacité de la mesurer. Les objets observés à travers ce type de télescope seront à jamais flous ou déformés.

¹ Source : Denis Bergeron, photographe amateur et membre de la Fédération des astronomes amateurs du Québec, Montréal, Canada

² Sir George Biddell Airy (1801-1892), professeur d'astronomie et de philosophie, directeur de l'observatoire de Cambridge. En 1834, il établit la théorie des anneaux de diffraction.

³ Glossaire ; page 45

Pour nous en convaincre et en sus de nos travaux, nous avons voulu comparer les qualités optiques du NexStar 11 GPS Schmidt-Cassegrain, équipé d'un correcteur-réducteur de champ haut de gamme sans *vignettage*¹ et autre coma, du Meade ETX-125 Maksutov-Cassegrain et d'une lunette astronomique de la grande surface, sur un objet de *Messier*², comme la nébuleuses diffuse M42 (nébuleuse en émission et par réflexion dans Orion). Résultat de nos tests : féérique avec le NexStar 11 GPS, surprenant avec le petit ETX-125 et médiocre avec la lunette astronomique bas de gamme !

Les nouvelles optiques Schmidt-Cassegrain et *Maksutov-Cassegrain*³ sont traitées multicouches donnant des images à la limite de la résolution théorique. Le traitement multicouche améliore, dans de grandes proportions, la transmission de la lumière tout en diminuant les rayonnements parasites. La longévité du traitement multicouche étant limitée dans le temps, l'optique va perdre de ses qualités intrinsèques au fil des ans.

Aujourd'hui, même si le Schmidt-Cassegrain (de 170 à 300mm de diamètre) sur monture alt-azimutale à fourche est proposé à des prix variant entre *Frs 5'000.00 et 10'000.00*⁴. Il dispose cependant d'une vaste panoplie d'accessoires qui le rend attractif, comme le module *GPS*⁵ intégré, la table équatoriale et autres dispositifs électromécaniques.

L'astronome amateur désireux d'investir, aujourd'hui, dans un tel télescope, se posera sûrement la question de la pérennité de son investissement. Mais existe-t-il quelques biens de consommation, fabriqués en quantité industrielle, capables de dépasser plus de dix années de bons et loyaux services...



Célestron Nexstar 11 GPS - Ø280mm - F/d 10, monture à fourche alt-azimutale⁶

¹ Glossaire ; page 52

² Liste de 110 objets non stellaires, compilée en 1781 par Charles Messier (1730-1817), français né à Badonviller (Meurthe et Moselle), astronome de la marine, membre de l'Académie impériale des sciences de Saint-Pétersbourg, Russie.

³ Dmitrii Maksutov (1886-1964), ingénieur russe de l'Institut optique d'état de Saint-Pétersbourg, conçoit en 1941, la première configuration optique similaire à celle du Schmidt-Cassegrain. La différence se situe dans la lame de fermeture qui est constituée d'un ménisque (lentille concave-convexe) épais à courbure prononcée. Contrairement au Schmidt-Cassegrain, le Schmidt-Maksutov ne nécessite aucune collimation. Maksutov publie sa découverte en 1944.

⁴ Source : GALILEO, rue de Genève 7, 1003 Lausanne

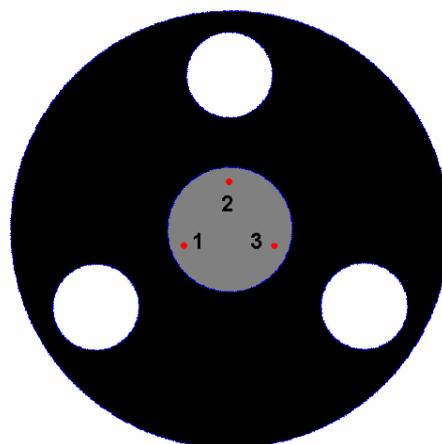
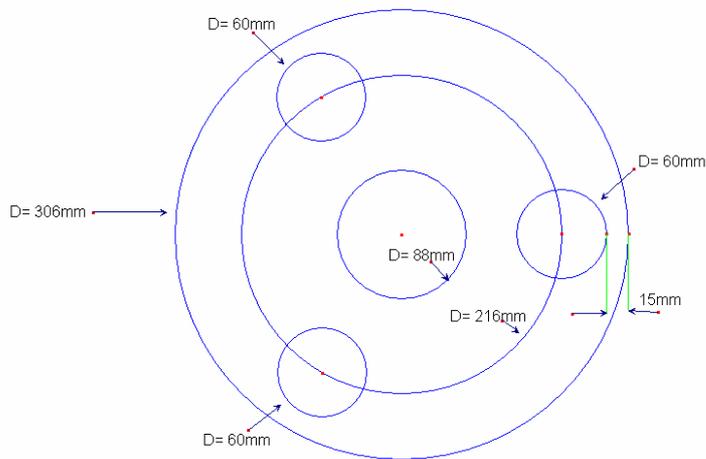
⁵ Glossaire ; page 47

⁶ Modèle de télescope utilisé dans le cadre de nos missions sur le terrain

LE DISQUE D'HARTMANN

Que l'on débute en astronomie ou en astrophotographie avec un télescope compact Schmidt-Cassegrain, on est rapidement confronté à quelques problèmes de collimation du télescope et autre focalisation (mise au point) de quelques objets à photographier.

Après quelques réflexions et autres recherches sur le même sujet, Damien a remarqué que l'idée du disque ou masque du père Scheiner (1575-1650, Jésuite, astronome et mathématicien allemand, récupérée par W. *Hartmann*¹, serait le dispositif le plus simple à réaliser et à utiliser pour la collimation et la focalisation d'objets stellaires et planétaires. L'*objet*² conçu pour les besoins de nos travaux, se présente sous la forme d'un disque en acrylique noir du diamètre intérieur de la lame correctrice du télescope, percé par 3 trous à 120° d'égale distance et de petit diamètre (60 mm ou 1/5 du diamètre de la lame correctrice du Célestron NexStar 11 GPS). Le trou central, d'un diamètre supérieur à 80 mm, permet d'accéder aux trois vis de collimation du miroir secondaire. Il faut savoir que le disque ou masque d'Hartmann existe en plusieurs variantes.



¹ Dr en astronomie planétaire et membre de l'équipe d'imagerie Mars Global Surveyor, NASA
² Plan: D. Ducret & O. Baumann. Usinage : Tech-Laser SA et Weber Mécanique, Villeneuve

LE DISQUE D'HARTMANN ET L'ALIGNEMENT DES OPTIQUES

Il est utile de contrôler régulièrement l'alignement des différents éléments optiques d'un compact Schmidt-Cassegrain les uns par rapport aux autres. Dans le jargon des astronomes, on parle de collimation. Il faut savoir que les performances d'un Schmidt-Cassegrain peuvent s'altérer à la suite de quelques déplacements en terrain accidenté. Même une légère décollimation perturbe les performances de l'instrument au niveau de la résolution, du contraste, de la finesse des objets observés aussi bien en ciel profond qu'en planétaire.

Sur tous les télescopes compacts Schmidt-Cassegrain, le seul réglage accessible à l'utilisateur se situe sur le support du miroir secondaire qui se trouve au centre de la *lame correctrice de fermeture*¹. Protégées par un capot, trois vis poussantes et tirantes permettent de modifier l'orientation du miroir secondaire.

La méthode de collimation par la méthode d'Hartmann est interactive, elle se déroule en quelques étapes. Elle a aussi l'avantage de pouvoir être utilisée par turbulence moyenne. Elle ne comporte aucun risque ni aucune difficulté, dès lors que quelques principes simples sont suivis. Pour plus de compréhension, les auteurs ont réalisé un petit *mode d'emploi*², simple à utiliser.



Celestron Nexstar 11 GPS - 280mm F/d 10 équipé du masque d'Hartmann

¹ Dessin ; page 10
² Annexe I

L'UTILITÉ DU DISQUE D'HARTMANN EN ASTROPHOTOGRAPHIE

Régler la netteté d'une étoile, d'un objet planétaire ou de tout autre objet étendu du ciel profond, est simple. Il suffit de porter l'oeil à l'oculaire et de tourner la molette de mise au point, jusqu'à l'obtention de l'image la plus nette possible. Mais lorsqu'il s'agit de photographier lesdits objets, la mise au point est fort délicate à faire et demande de l'expérience.

L'astronome amateur optera pour la simplicité du disque ou masque d'Hartmann pour effectuer la mise au point de tous objets à photographier. L'astrophotographie exige beaucoup de temps, de patience, de persévérance, de technique. Tous les traitements ultérieurs ne corrigeront jamais les défauts à la prise d'images.

Dans le schéma ci-dessous, nous avons représenté ce que notre amateur aurait pu observer si son télescope avait été muni d'un disque ou masque d'Hartmann, alors qu'il pensait avoir fait une mise au point irréprochable de l'objet de ses désirs.

Comme les auteurs de cette étude avant lui, il aurait été surpris d'observer que son unique objet se fractionnait en 3 disques séparés de quelques degrés (figure de gauche) et, que par simple peaufinage de la mise au point de son télescope, il aurait pu obtenir la vision d'une image parfaite et de très grande netteté (figure de droite), prête à être photographiée, non sans avoir retiré au préalable et avec grande délicatesse, le disque ou masque d'Hartmann de son télescope.



Par nuit de forte turbulence, une focalisation ou mise au point des objets à photographier sera toujours plus difficile à obtenir. Il faut savoir qu'une mise au point n'est jamais définitive et qu'elle peut varier constamment en cours de nuit, suite à quelques changements climatiques sur le lieu d'observation et en fonction de la hauteur des objets qui sont à photographier.

IMAGERIE WEBCAM

GÉNÉRALITÉS

L'imagerie numérique a bouleversé le monde de l'astrophotographie argentique ces dernières années. Avec l'apparition des capteurs CCD¹, les temps de pose sont devenus extraordinairement courts tout en permettant de figer la turbulence atmosphérique ou tout au moins d'avoir de meilleurs résultats qu'en argentique. Malheureusement ces capteurs étaient très onéreux il y a encore peu, plus de Frs 20'000.00 l'unité. Les scientifiques travaillant au sein des observatoires professionnels en avaient la primauté.

LA WEBCAM

1998, un français, Michel *Collart*², informaticien et électronicien de métier, rédacteur de la revue *Éclipse*, détourne de son objectif premier, la petite Quick Cam noir et blanc de Logitech pour la visioconférence dotée d'un capteur CCD Texas TC255P de 3,2 x 2,4mm. Moyennant quelques modifications et autre abandon d'objectif, cette petite caméra numérique ou webcam a été la première à faire le bonheur de tous les passionnés d'images planétaires jusqu'à l'arrivée de la ToUcam Pro I de Philips. Pour capter le maximum de lumière d'objets lointains, il faudra attendre septembre 2001 pour qu'un génial astronome amateur anglais trouve la parade en modifiant physiquement cette webcam, de manière à en augmenter la durée d'acquisition à plus d'une seconde. Ce génie est *Steve Chambers*³. L'utilisation de la webcam a permis aux astronomes amateurs de se libérer de la turbulence atmosphérique, par le nombre important d'images enregistrées en une seconde. En moyenne, 15 images/seconde.

Aujourd'hui, la nouvelle ToUcam Pro II USB de Philips (à plus ou moins Frs. 100.00 l'unité), pourvue d'un petit capteur ccd Sony, est 1,5 fois plus lumineuse que l'ancienne ToUcam Pro I et environ 4 fois plus lumineuse que la première Quick Cam. Cette nouvelle webcam est abondamment utilisée par la communauté mondiale des astronomes amateurs et par quelques scientifiques de renom.

Caractéristiques techniques du capteur Sony : ccd ICX098BQ color 1/4" à matrice de *filtres de Bayer*⁴, de type progressive scan (tous les pixels sont exposés en même temps), d'une surface de 4,6 x 3,97mm, dont les *pixels*⁵ ou *photosites*⁶ carrés mesurent 5,6 x 5,6 microns. Résolution effective de 659 x 494 pixels, soit 325'540 pixels au total.



Webcam Philips. A gauche, l'ancien modèle ToUcam Pro I PCVC740K USB, à droite le nouveau modèle ToUcam Pro II PCVC840K USB



1 Glossaire ; page 44
 2 Bibliographie ; page 43
 3 Bibliographie ; page 43
 4 Glossaire ; page 47
 5 Glossaire ; page 51
 6 Glossaire ; page 51

LE MONTAGE DE LA WEBCAM

Faire de l'imagerie numérique avec une webcam et un télescope n'était pas facile il y a encore peu. La solution classique, pour fixer la caméra au foyer des télescopes, consistait à enlever l'« objectif » de la petite caméra ccd et coller autour de l'orifice laissé libre, un petit conteneur cylindrique pour les films argentiques 24x36. Le petit conteneur noir des films Fuji avait, par aubaine, un diamètre très voisin de celui des portes oculaires des télescopes actuels. Aujourd'hui, grâce à Dany Loudèche, astronome amateur belge, il a été remplacé par un *adaptateur*¹ en aluminium anodisé noir au *coulant*² standard, plus rigide et pourvu de filetages identiques à celui de l'« objectif » et autres filtres dédiés.



Ci-contre : la ToUcam Pro II, équipée de l'adaptateur Loudèche en aluminium anodisé noir et du filtre IR-Blocking, prête à être fixée au foyer du télescope.

LES EFFETS DE LA TURBULENCE

Ce facteur joue un rôle fondamental dans l'observation des planètes ou pour l'imagerie numérique. Même avec le meilleur télescope, la turbulence atmosphérique nous empêche d'obtenir des images de grande qualité. Physiquement, les mouvements d'air de différentes températures font « scintiller » les étoiles. En imagerie planétaire, il faut continuellement se battre contre la turbulence pour éviter la disparition des plus fins détails d'un objet planétaire ou stellaire. On distingue deux sortes de turbulence :

- la turbulence instrumentale est due aux courants convectifs induits par la différence de température entre l'instrument et l'air ambiant. Elle peut facilement être combattue en plaçant, sur un sol de terre meuble, l'instrument d'observation au moins 2 heures avant toute observation ou prise de vue. La proximité de sources absorbantes de chaleur (plaques de béton, routes goudronnées) est à éviter.

- la turbulence atmosphérique est plus pernicieuse. Elle provient des écarts de température entre les diverses couches de notre atmosphère terrestre. Elle ne peut être corrigée que par des moyens très sophistiqués (optique adaptative par exemple), inaccessibles à l'astronome amateur. Le fait d'utiliser une webcam (vitesse d'obturation très rapide) limite son influence néfaste.

LA FOCALISATION A L'AIDE D'UNE WEBCAM

La focalisation ou mise au point d'un objet (une planète pour l'exemple) à l'aide d'une webcam et d'un ordinateur semble plus facile qu'en astrophotographie conventionnelle, cependant elle doit être aussi minutieuse. Après avoir effectué la focalisation ou mise au point de l'objet, par déplacement du miroir primaire et avec l'aide d'un oculaire de contrôle à fort grossissement, on retire ledit oculaire pour le remplacer par une webcam dédiée astro. La caméra opérant en mode flux ou continu, on refocalise l'objet à l'aide d'un appareil complémentaire et indépendant, le focuseur électrique ou mécanique, tout en jugeant de la densité des détails sur l'image brute qui apparaît sur l'écran de l'ordinateur.

¹ Les adaptateurs de Dany Loudèche sont disponibles chez GALILEO, rue de Genève 7, 1003 Lausanne

² Glossaire ; page 46

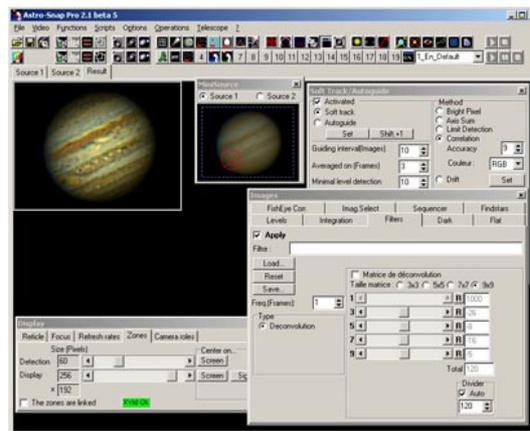
Focuseur mécanique de précision Crayford¹

Par nuit de moyenne turbulence, une focalisation des objets sera toujours plus difficile à obtenir. Il faut savoir qu'une mise au point n'est jamais définitive et qu'elle peut varier constamment en cours de nuit, suite à quelques changements météorologiques sur le lieu d'observation et en fonction de la hauteur des objets à saisir.

LOGICIELS D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT D'IMAGES

ASTROSNAP

AstroSnap dans sa version Pro est un logiciel d'acquisition d'images CCD appliqué à l'imagerie webcam. Le concepteur d'AstroSnap est Axel *Canicio*².

écran d'AstroSnap Pro³

Ce logiciel étant en perpétuelle évolution, vous avez la possibilité de le tester gratuitement dans sa version de base en le téléchargeant sur le site de son *concepteur*⁴.

Malgré un aide-mémoire de grande facture, nous avons constaté que le paramétrage d'AstroSnap, dans sa version standard ou Pro, n'était pas simple à utiliser pour l'amateur.

Pour en simplifier son emploi, Damien a rédigé, dans le cadre de cette étude et en étroite collaboration avec Jean-Louis Badin et Guy A Ducret, son père, un petit *aide-mémoire*⁵ pour tous les passionnés de l'imagerie numérique planétaire, intitulé : AstroSnap en toute simplicité.

1 Source : William Optics Headquarters, Taipei, Taiwan

2 Ingénieur en informatique et astronome amateur, Alès

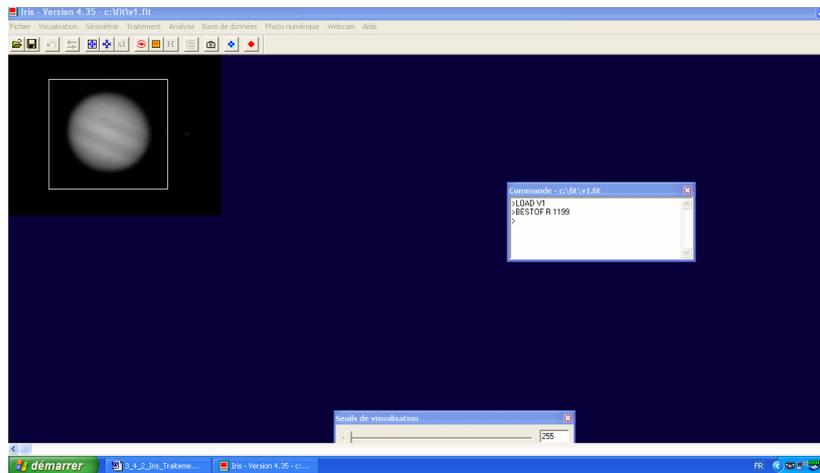
3 Source : Axel Canicio

4 Bibliographie ; page 43

5 Annexe II

IRIS

Iris est un logiciel d'acquisition et de traitement, indispensable à l'imagerie CCD et webcam. Le concepteur d'Iris est *Christian Bui*¹.



écran d'Iris²

Ce logiciel étant en perpétuelle évolution, vous avez la possibilité de le tester gratuitement en le téléchargeant sur le site de son *concepteur*³.

Malgré un aide-mémoire de grande facture, nous avons constaté que le paramétrage d'Iris n'était pas des plus simples à faire et, que l'éditeur de commandes (ci-dessus, à droite de l'image de Jupiter) pour traiter les films au format Windows AVI⁴, était complexe.

L'ACQUISITION

Il faut savoir que l'acquisition à la webcam ne donne pas une image instantanée d'un objet planétaire ou stellaire, mais une séquence (film) d'images numériques au format Windows *.AVI.

Avant de penser vouloir capturer quelques images numériques de l'objet tant convoité, il sera nécessaire de modifier quelques paramètres vidéo de la petite webcam, via le driver (CD-Rom) qui est livré avec.

Toutefois et à titre indicatif, nous nous permettons d'exposer ci-après tous les paramètres vidéo de notre ToUcam Pro II.

1) Taille d'acquisition : 640x480⁵ pour avoir un maximum de résolution de l'objet visé.

¹ Ingénieur en informatique, CNES, Toulouse. Maître de stage à l'observatoire de Haute Provence. Membre de la Société Astronomique de France. Il est aussi l'un des pères fondateurs de l'imagerie CCD populaire et de l'utilisation de spectrographes astronomiques par les amateurs.

² Source : les auteurs

³ Bibliographie ; page 43

⁴ Format de fichier utilisé par Windows pour le stockage des images vidéo et du son

⁵ Signifie que la vidéo fait 640 pixels de large par 480 pixels de haut

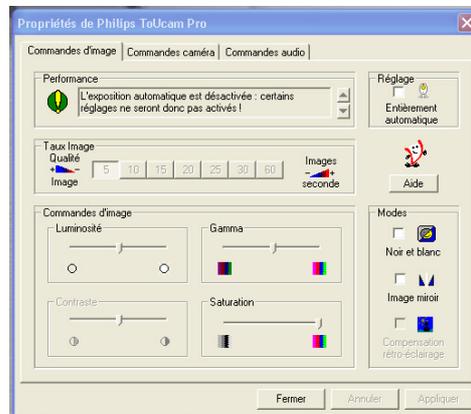
2) Taux Image ou nombre d'images enregistrées par secondes sur le disque dur : il est recommandé d'utiliser un taux d'images entre 5 et 15 images par seconde. Avec de tels taux, il y a des chances de tomber dans « trou » de turbulences. Il est vrai qu'un taux de 30 images par seconde serait alléchant, mais il est à proscrire. Les images sont trop compressées et perdent en qualité.

3) Luminosité : le curseur contrôle la luminosité globale de l'image. Si l'on pousse le curseur à droite ou à gauche, le noir devient gris et le gris devient blanc. Le bon compromis est à 50%.

4) Gamma : le curseur contrôle l'intensité des couleurs. Un gamma minimum donne une image proche du noir et blanc, alors qu'un gamma maximum donne une image en couleur sursaturée. Le bon compromis est à 50%.

5) Saturation : le curseur contrôle la saturation des couleurs. Le compromis est à 0 %.

Vue de la *fenêtre*¹ « commandes d'images »



6) Balance des blancs

Ce paramètre permet de régler les couleurs lors des acquisitions. Sur la ToUcam Pro II, on peut l'ajuster manuellement, ce qui permet de régler les couleurs pour avoir un résultat réaliste en temps réel.

A notre avis, il est préférable de laisser la balance des blancs en mode automatique. On évitera l'apparition de quelques couleurs inhabituelles.

7) Vitesse d'obturation : le curseur détermine le temps d'exposition par image acquise. En règle générale, on travaille à 1/25^{ème} de seconde pour des objets comme Jupiter, Mars, Saturne et pour les détails lunaires comme les cratères.

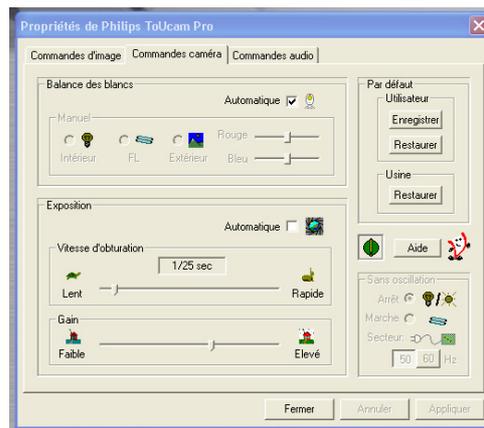
Par contre, pour un plan large de la Lune, on peut remonter à 1/250^{ème} de seconde et même plus.

8) Gain : le curseur détermine la dynamique de l'image ou grain en photographie. En règle générale, il faut l'abaisser entre 40 à 60 % pour avoir une belle image. Les commandes Vitesse d'obturation et Gain étant liées, il faut décocher la fonction automatique.

1

Source : les auteurs

Vue de la *fenêtre*¹ « commandes d'images »



9) Temps de pause

Par effet de rotation de Jupiter (ou Mars), le temps de pause ne doit guère dépasser les 90 secondes, soit environ 1200 images. Pour Saturne, un film de plus de 2 minutes est courant, soit environ 2000 images.

Si l'acquisition des planètes supérieures est relativement facile à faire la nuit avec une webcam, pour le Soleil ou les planètes inférieures, un filtre est indispensable. La feuille en polyester AstroSolar Planétarium de Baader est abondamment utilisée par la communauté des astronomes pour l'observation du Soleil, des éclipses et autre transit.

A titre de rappel, les atteintes rétinienne dues au rayonnement du Soleil ne sont précédées d'aucune douleur prémonitoire. Elles sont absolument irréversibles.

LE TRAITEMENT

Avant tout, nous allons nous attacher qu'à l'aspect pratique du traitement et non aux algorithmes et autres calculs mathématiques se cachant en arrière des logiciels dédiés. L'objectif du traitement est de faire apparaître quelques détails qui n'étaient pas visibles sur les images numériques brutes et éviter l'apparition de quelques parasites logiciels ou artefacts. Venons-en au logiciel le plus utilisé pour traiter les films AVI, après acquisition : Iris.

Avant d'étudier quelques séquences de commandes du logiciel, voyons son aspect général et les petits réglages de base. Pour ce faire, Damien a rédigé, dans le cadre de cette étude et en étroite collaboration avec Jean-Louis Badin et son père Guy A. Ducret, un petit *aide-mémoire*² pour tous les passionnés du traitement des films AVI. Il est intitulé : Comment traiter vos AVI avec Iris. Ce petit aide-mémoire a la particularité d'offrir un script de traitement d'images ultra rapide pour les astronomes débutants et un script très technique, utilisant la dernière génération de commandes, pour les autres.

¹ Source : les auteurs
² Annexe III

APERÇU D'IMAGES PLANÉTAIRES

Les images présentées ci-dessous sont extraites de la galerie 2005 de Damien. Elles ont été réalisées à l'aide du télescope Schmidt-Cassegrain Célestron NexStar 11 GPS, sur lequel a été placé, dans le renvoi coudé TéléVue au coulant de 50,8, une ToUcam Pro II de Philips munie de l'adaptateur Dany Loudèche, d'un filtre IR Blocking d'Atik Instruments au coulant de 31,75, le tout enchâssé dans une Powermate 2x de TéléVue. Elles ont toutes été traitées avec le logiciel Iris.



Jupiter, Europe et son ombre, Io (à gauche en élongation maximale), 05.02.2005 à 23h31²



Jupiter et Ganymède, 18.03.2005 à 01h38¹



Saturne, 15.03.2005 à 23h01³

¹ L'image est de Damien et Guy A. Ducret, Baugy s/Clarens, membres de l'Astro Club Aigle. Elle a été publiée par le mensuel scientifique Astronomie magazine, numéro 68 de mai 2005

² L'image est de Damien et Guy A. Ducret

³ L'image est de Damien Ducret et Florian Nicolier

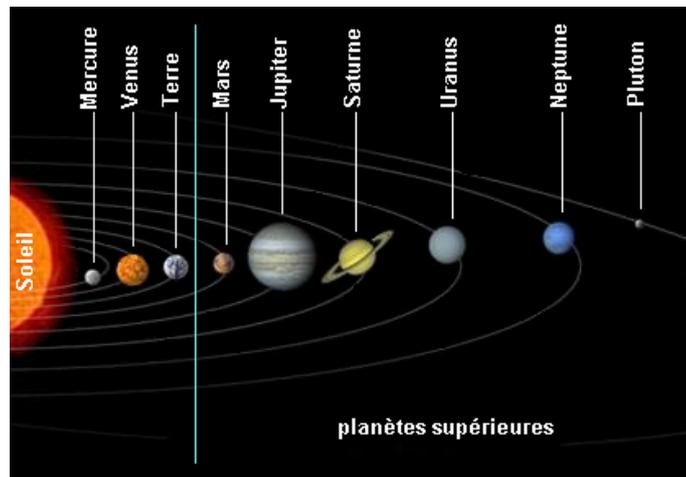
PLANÈTES

VISIBILITÉ DES PLANÈTES

Les planètes, à l'inverse des étoiles, nous apparaissent sous la forme de disques et non de points qui voyagent (scintillent) au gré des turbulences. La turbulence atmosphérique agissant sur ces disques a pour effet de ménager leur image : l'image nous paraît stable (les fréquences de turbulence étant plus faible ou comparable à celle du pouvoir de perception par notre système de vision). Si vous possédez quelques petites notions en astronomie, vous constaterez que les planètes traversent, plus ou moins « rapidement », notre voûte céleste d'Est en Ouest.

Les planètes, tout comme notre satellite, la Lune, n'émettent pas de lumière, elles ne font que réfléchir celle du Soleil. Comme la Lune, elles exhibent une face éclairée et une face obscure. Leurs distances avec la Terre varient, elles se révèlent sous un diamètre apparent plus ou moins grand.

D'une façon générale, les conditions de visibilité d'une planète dépendent de sa *position*¹ par rapport à la Terre et au Soleil.



Les échelles des tailles et des distances ne sont pas respectées

LES PLANÈTES INFÉRIEURES

Elles orbitent plus près du Soleil que la Terre, elles se situent à l'intérieur de l'orbite de la Terre. (Mercure et Vénus). Elle passe du stade invisible, soit de l'autre côté du Soleil par rapport à la Terre, dite conjonction supérieure, à visible après le coucher du Soleil dans notre ciel. Elle rentre à nouveau en conjonction, dite conjonction inférieure, pour ne réapparaître que dans la phase d'élongation à l'Ouest. Tout comme la Lune, elle apparaît pleine aux abords de la conjonction supérieure et sous la forme d'un mince croissant près de la conjonction inférieure.

LES PLANÈTES SUPÉRIEURES

Elles orbitent plus loin du Soleil que la Terre. Aux abords de la conjonction, elles sont invisibles. Ce sont des planètes dites supérieures.

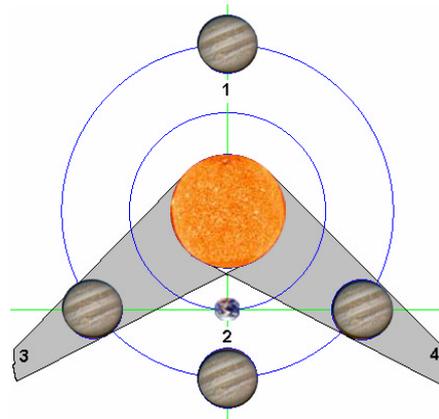
¹ Tableau réalisé par les auteurs

PLANÈTES EN QUADRATURE

Cas particulier où la planète et le Soleil ouvrent un angle droit dont le sommet est la Terre. L'angle que forme une planète par rapport à la Terre avec le Soleil vaut 90° . On dit que la planète est en quadrature avec le Soleil. Seules les planètes supérieures peuvent se retrouver dans cette disposition. Les planètes dites inférieures (Mercure et Vénus) ne peuvent jamais se retrouver en position de quadrature.

La quadrature est un point intéressant de l'orbite planétaire, car on peut déceler indirectement, en observant les satellites d'une *planète*¹, la présence d'un cône d'ombre projeté par la planète elle-même. Römer fit une découverte magistrale en observant Io, satellite de Jupiter.

Adoptons Jupiter pour *l'exemple*². Au cours de son orbite, Jupiter va se retrouver tantôt de l'autre côté du Soleil, tantôt, derrière la Terre, par rapport au Soleil. Lorsque Jupiter se retrouve au point 1, on dit qu'elle est en conjonction avec le Soleil. Lorsque Jupiter est au point 2, on dit que Jupiter est en opposition. Jupiter est alors au plus près de la Terre et son intensité lumineuse est à son maximum ainsi que son diamètre apparent, ce qui facilite toute observation des détails de sa surface. Quant la planète atteint le point 3 ou 4, on dit qu'elle entre en quadrature Ouest (moment où la distance angulaire entre Jupiter et le Soleil est de 90° dans le ciel du matin), ou qu'elle entre en quadrature Est (moment où la distance angulaire entre Jupiter et le Soleil est de 90° dans le ciel du soir).



Les échelles des tailles, des distances et des orbites ne sont pas respectées

Prochaine opposition de Jupiter

Date	03 Avril 2005
Taille apparente (en secondes d'arc)	44.17
Distance (en millions de km)	667
Hauteur maximale sur l'horizon en Europe (passage au méridien)	37°02'

Prochaine quadrature de Jupiter

Date :	1 ^{er} juillet 2005
La planète jovienne entre en quadrature Est à :	17h12

¹ Annexe IV

² Dessin réalisé par les auteurs

JUPITER, PREMIÈRE PLANÈTE GAZEUSE DU SYSTÈME SOLAIRE

Le système solaire se compose de deux types de planètes, les telluriques comme La Terre, Mars, Mercure, Vénus et Pluton et les géantes gazeuses comme Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Jupiter, comme les autres gazeuses, s'accommoderait d'un noyau rocheux composé de silicates et de fer. Les connaissances actuelles sur la composition et le volume du cœur de ces géantes sont absolument théoriques et, ne reposent que sur des mesures indirectes.

La température de Jupiter est d'environ -140°C au niveau des hautes couches atmosphériques, 0°C dans les couches inférieures et probablement $24\ 000^{\circ}\text{C}$ au niveau de son noyau.

ATMOSPHÈRE

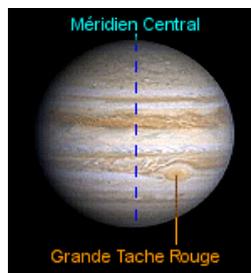
A l'image des autres géantes gazeuses, Jupiter possède une atmosphère de gaz très massive (plus de 90% de la masse totale). Elle est composée d'hydrogène, d'hélium, de méthane, d'éthane, d'ammoniac et de quelques traces d'acétylène, de néon, d'oxygène et de carbone.

Sa haute atmosphère, comme pour les trois autres géantes, est très perturbée, agitée par des vents très violents qui peuvent souffler à plus de 600 km/h, glissant le long de larges bandes de latitude claires (zones de nuages froids situés à haute altitude) et foncées (ceintures nuageuses comparativement transparentes), filant dans le sens contraire de chaque bande adjacente.

La période de rotation des bandes de la zone équatoriale de Jupiter est de 9h51, tandis que pour les latitudes supérieures et inférieures, elle est de 9h56.

Avec son *anticyclone*¹ géant, facilement observable avec un télescope d'un diamètre supérieur à 100mm, Jupiter nous offre un spectacle digne d'intérêt. Il peut passer deux ou trois fois au méridien central de Jupiter au cours d'une même *ournée*².

L'anticyclone de Jupiter fut découvert par le mathématicien et astronome anglais Robert Hooke en 1664. Il présente une structure spiralée anti-horaire qui s'étend sur environ 25000 km de longueur et 12000 km en largeur. Cet anticyclone ou Grande Tache Rouge ou *GTR*³ est situé dans la zone tropicale Sud à une latitude d'environ 22° . Il est deux fois plus grand que la Terre.



Grande Tache Rouge de Jupiter ou GTR⁴

¹ L'anticyclone est un phénomène météorologique. C'est une zone de circulation atmosphérique autour d'un centre de haute pression.

² Annexe V

³ Contraction utilisée par la communauté des astronomes francophones

⁴ Image : NASA Solar System Exploration. Textes : les auteurs

ANNEAUX PLANÉTAIRES

Pareillement à Jupiter, toutes les géantes gazeuses ont la particularité de posséder plusieurs anneaux planétaires visibles et invisibles de l'observateur humain. La composition des anneaux est incertaine. On y trouve des roches de quelques centimètres à quelques mètres de diamètre, des grains de sable identiques à ceux de la croûte terrestre et des poussières glacées.

SATELLITES

Comme Saturne (47 satellites naturels, dont Titan (\varnothing 5150 km), qui est plus grand que les planètes Mercure (\varnothing 4986 km) ou Pluton (\varnothing 2302 km)), Uranus (27 satellites naturels) ou Neptune (13 satellites naturels), Jupiter possède 63 satellites naturels, dont Io, Europe, Ganymède et Callisto.

Io

Io est l'un des quatre grands satellites galiléens. Il est le plus proche de Jupiter. Son activité volcanique est remarquable. Il est enveloppé de composés soufrés. Des traces blanchâtres dévoilent la présence d'anhydride sulfureux. Son diamètre à l'équateur est de 3643 km. Sa masse est de $8,93 \cdot 10^{22}$ kg. Selon la position de la Terre par rapport à Jupiter et au Soleil, l'occultation d'io par Jupiter se produit avec un décalage de 16 minutes 26 secondes

EUROPE

La composition d'Europe offre une structure semblable à celle de la Terre. La présence d'immenses banquises confirme que l'eau est bien présente. Son diamètre à l'équateur est de 3 122 km.

GANYMEDE

Ganymède est la plus grosse lune de Jupiter et du système solaire. Sa surface est similaire à celle de la Lune, mais les impacts de météorites révèlent un manteau de glace inférieur. Son diamètre à l'équateur est de 5262 km.

CALLISTO

Callisto a une surface similaire à celle de notre satellite. Par sa taille, Callisto est la troisième plus grosse lune du système solaire. D'après les dernières images de la sonde Galiléo, elle est entièrement recouverte de glace. Il probable qu'un océan d'eau salée y soit emprisonné. Son diamètre à l'équateur est de 4821 km.

PERIODE DE REVOLUTION SIDERALE

La période de révolution sidérale de Jupiter autour du Soleil est de 11 ans 317 j 14,51 h¹.

1

Source : NASA Solar System Exploration

VOCABULAIRE PARTICULIER UTILISÉ EN ASTRONOMIE PLANÉTAIRE

La **CONJONCTION** est le rapprochement en perspective de 2 astres, à leur plus grande proximité apparente dans le ciel. Ces 2 astres peuvent être : 2 planètes, une planète et une étoile, une planète ou une étoile et la Lune, une planète et le Soleil. On peut dire aussi que c'est un alignement d'une planète avec la Terre et le Soleil.

Une conjonction n'est qu'un simple effet de perspective céleste, sans rapprochement réel dans l'espace. Toutes les planètes ne sont pas observables. Les dates des conjonctions les plus rapprochées sont référencées dans toutes les bonnes revues d'astronomie.

Les planètes ou satellites inférieurs (lunes joviennes pour l'exemple) présentent avec le Soleil une conjonction inférieure lorsqu'elles s'interposent entre le Soleil et la Terre, et une conjonction supérieure lorsqu'elles passent derrière le Soleil. Les planètes supérieures ne présentent qu'une seule conjonction, qui est supérieure.

L'**ÉLONGATION** est la distance d'un astre par rapport au Soleil pour tout observateur situé sur la Terre. Ce terme s'emploie presque exclusivement pour les planètes inférieures, c'est-à-dire Mercure et Vénus.

Les élongations maximales de Vénus varient entre 45° et 47.5° . Celles de Mercure entre 16.15° et 27.45° . La variation est plus forte en raison de l'importante excentricité de cette planète. L'élongation est dite orientale ou occidentale si l'on se réfère à la position de l'astre se trouvant à l'Est ou à l'Ouest du Soleil pendant son observation depuis la Terre.

L'**OPPOSITION** est la situation d'une planète quand elle passe au méridien sud à minuit en temps universel ou TU^1 ou UT. En résumé, nous pouvons dire que l'opposition est la période pendant laquelle une planète est la plus proche de la Terre, ce qui explique sa forte luminosité et son diamètre apparent élevé. L'opposition est le seul moment propice à l'observation d'une occultation d'un satellite du début à sa fin, puisque le Soleil étant situé à l'opposé. Pour résumé et à titre d'exemple : le ballet des satellites de Jupiter devient visible quand la planète se lève et quand le Soleil se couche et inversement.

L'**OCCULTATION** est la disparition temporaire d'un astre derrière un autre, de diamètre apparent supérieur. L'*occultation*² la plus fréquemment observée en astronomie est le masquage du disque solaire par celui de la Lune.



Occultation de Jupiter par la Lune, 7 décembre 2004³

¹ Glossaire ; page 52

² L'occultation commence toujours sur le limbe Ouest (immersion) et se termine sur le limbe Est (émersion)

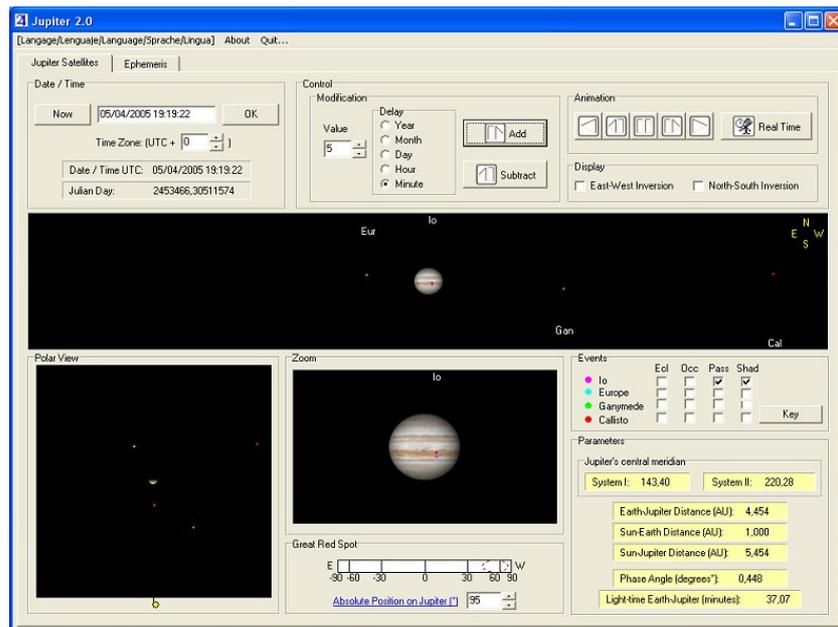
³ Source : Fédération des astronomes amateurs du Québec, Montréal, Canada

EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Pour parachever cette étude par quelques calculs, nous avons eu recours aux logiciels Jupiter 2.0 et *RedShift 4*¹ :

JUPITER 2.0

Jupiter 2.0 est un programme permettant de calculer, avec très grande précision, les éphémérides du système jovien. Il s'appuie sur les algorithmes astronomiques et autres calculs d'éphémérides développés par Jean *Meeus*². Son concepteur est Sylvain *Rondi*³.



écran de Jupiter2⁴

Ce logiciel étant en perpétuelle évolution, vous avez la possibilité de le tester gratuitement en le téléchargeant sur le site de son *concepteur*⁵.

Malgré un aide-mémoire de grande facture, nous avons constaté qu'il était très facile à utiliser.

¹ Célèbre planétarium interactif de Mindscape France, recommandé par l'AFA (Association française d'astronomie)

² Météorologiste, membre de la Société Royale Belge d'Astronomie, auteur de plusieurs ouvrages scientifiques. En reconnaissance mondiale pour ses travaux, l'Union Astronomique Internationale a décidé de baptiser en 1981, l'astéroïde 2213, astéroïde 2213 Meeus. Bibliographie ; page 43.

³ Ingénieur en Génie Mécanique et Génie Industriel en mission à l'Observatoire du Pic du Midi, Pyrénées, en qualité d'ingénieur et de chercheur impliqué dans le projet Calas, Tarbes, France

⁴ Source : les auteurs

⁵ Bibliographie ; page 43

CALCUL DE LA DISTANCE SEPARANT DEUX POINTS DANS L'ESPACE

Tous les calculs développés ci-après sont fondés sur l'image ci-dessous :

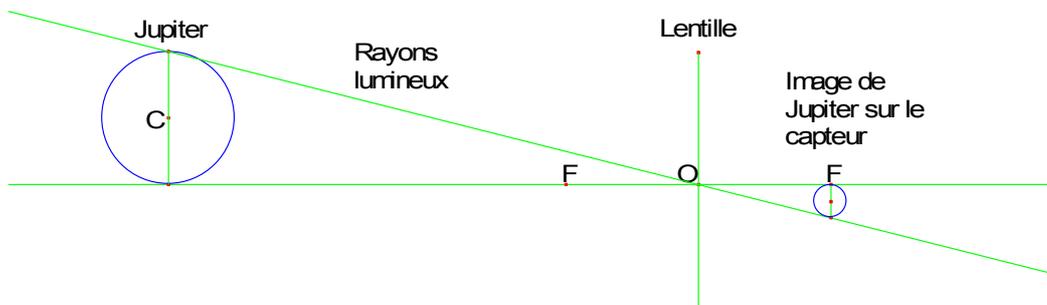


Jupiter et Ganymède – 18.03.05/01h38¹

Pour calculer la distance reliant deux points différents dans l'espace, nous avons pensé qu'il était plus facile de chercher la distance séparant deux points situés sur un même plan. Pour ce faire, nous avons choisi de calculer le diamètre de Jupiter. Grâce à ce calcul, il nous a été permis, par la suite, de déterminer la masse de la première planète gazeuse du système solaire.

Pour la bonne compréhension de notre raisonnement, nous avons décidé de réaliser les plans suivants :

Premier *plan*²

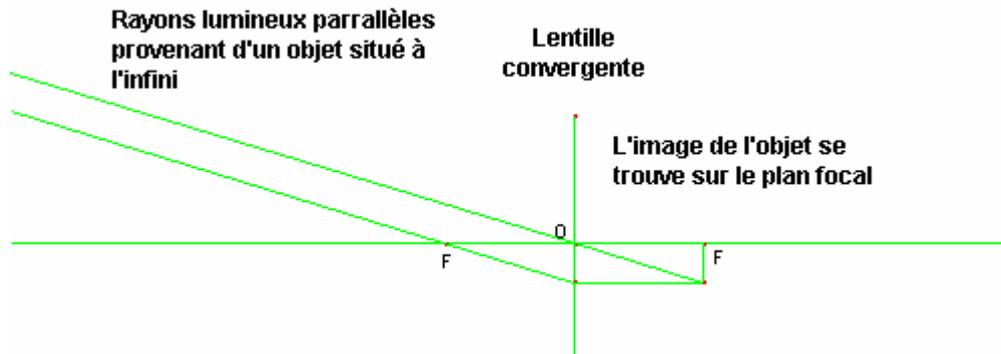


Les échelles des tailles et des distances ne sont pas respectées

Ce premier plan démontre que nous nous trouvons en présence d'un dessin faisant appel au théorème des triangles semblables. Grâce à son application, il nous a été permis de trouver l'inconnue, le diamètre.

¹ Source : les auteurs

² Dessin réalisé par les auteurs

Second *plan*¹

Les échelles des tailles et des distances ne sont pas respectées

Ce second plan nous montre pourquoi une image se forme sur le plan focal. Petite explication, la source lumineuse se trouvant à une distance infinie, ses rayons lumineux sont quasiment parallèles.

En disposant des éléments suivants :

dates et heures de la prise d'images,

distance entre le centre de Jupiter et le centre de la Terre donnée en unité astronomique par le logiciel Jupiter2 à la date du 18 mars 2005 (distance en km à multiplier par la valeur astronomique connue) :

$$4,501[ua] \cdot 149597871[km] = 673340017,371[km]$$

et focale F du télescope : $2800[mm]^2$,

nous avons pu mesurer, à l'aide du logiciel *Paint Shop Pro 8*³, la taille ou diamètre de Jupiter sur le capteur de notre petite ToUcam Pro II. Après avoir chargé notre image et procédé à son agrandissement (600%), nous avons pu déterminer les coordonnées x et y de l'image (c'est-à-dire les coordonnées situées aux deux extrémités de la ligne médiane blanche), soit pour le point **A** à droite (69 ; 114) et pour le point **B** à gauche (164 ; 69). En connaissant ces deux coordonnées, par calcul vectoriel, nous avons pu obtenir la valeur en pixel du diamètre de la planète jovienne, valeur que nous avons multipliée par la taille d'un *pixel*⁴. En utilisant cette méthode, nous avons pu déterminer avec précision, la taille du diamètre apparent de Jupiter sur le capteur.

¹ Dessin réalisé par les auteurs
² Source : Célestron 2835 Columbia Street, Torrance, CA 90503, USA
³ Logiciel complet de création et de retouche d'images numériques
⁴ Source ; page 18

CALCUL DU DIAMETRE DE JUPITER

En utilisant les coordonnées x et y de l'image du 18 mars 2005 :

$$\mathbf{A} (69 ; 114) \text{ et } \mathbf{B} (164 ; 69)$$

nous avons obtenu par calcul vectoriel, selon la formule mathématique ci-dessous :

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

la taille en pixels (à ± 2 pixels sur la plus grande coordonnée) du diamètre de Jupiter sur le capteur de notre webcam :

$$\sqrt{(69 - 164)^2 + (114 - 69)^2} = 5 \cdot \sqrt{442} \pm 1,4 [\text{pixel}]$$

et la taille en microns de ce même diamètre :

$$(5 \cdot \sqrt{442} \pm 1,4) \cdot 5,6 \cong 588 \pm 8 [\mu m]$$

En appliquant les valeurs ci-dessus, dans l'égalité où D représente la distance Terre - Jupiter, d la focale, l le diamètre de Jupiter et i, le diamètre projeté sur le capteur de la ToUcam Pro II :

$$\frac{D}{d} = \frac{l}{i}$$

nous avons obtenu le diamètre en mètres de Jupiter, soit :

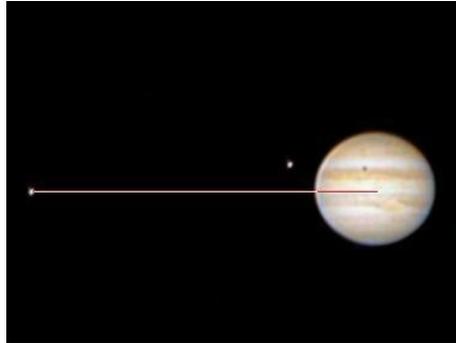
$$\frac{673'340'017'371}{2,8} = \frac{l}{0,000588666} \Rightarrow l \cong \mathbf{141'000'000} \pm 2'000'000 [m]^1$$

¹

Le diamètre de Jupiter est donné par la NASA Solar System Exploration à 142'984 km

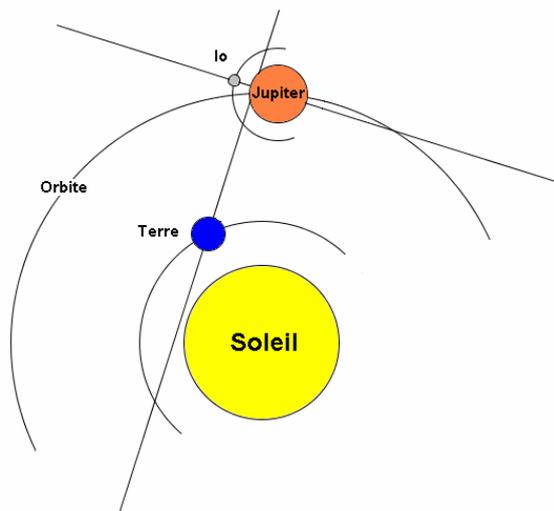
CALCUL DE LA MASSE DE JUPITER

Les calculs développés ci-après sont fondés sur l'image ci-dessous et sur nos observations.



Jupiter, Europe et son ombre, Io – 05.02.05/23h31¹

Dans un souci d'information, nous avons décidé de *modéliser*² la vision de notre image au sein d'une libre réduction du système solaire.



Les échelles des tailles, des distances et des orbites ne sont pas respectées

Le schéma ci-dessus montre que pour un observateur terrestre, le centre d'Io est pour ainsi dire dans le même plan que le centre de Jupiter.

Pour calculer la masse de Jupiter, il nous a été nécessaire de connaître la distance reliant le centre d'Io au centre de Jupiter, en utilisant la même technique que celle utilisée pour établir le diamètre de Jupiter. Dans un deuxième temps, sur la base de nos observations, nous avons calculé la période de révolution du satellite Io autour de Jupiter. En s'appuyant sur ces deux mesures, sur la troisième loi de Képler et sur la loi d'attraction ou gravitation universelle d'Isaac Newton, nous avons pu reconstituer les équations nous donnant la masse de Jupiter.

¹ Source : les auteurs

² Dessin réalisé par les auteurs

MÉTHODE UTILISÉE

En combinant sa loi sur la gravitation universelle et la 3^{ème} loi de Kepler, Newton en a déduit (ou **T** et **A** sont utilisés pour tous corps gravitant l'un autour de l'autre) la loi suivante :

$$\frac{T^2}{A^3} = \frac{4 \cdot \pi^2}{G \cdot M}$$

A cet instant précis, il ne restait qu'à trouver la valeur de **T** et de **A**.

M constituant la masse de Jupiter à calculer et **G** représentant la constance de la gravitation universelle, soit : $6,67259 \cdot 10^{-11} [N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}]$ ¹

Pour établir la valeur de **A** (distance Io – Jupiter), il était nécessaire d'admettre que l'orbite d'Io soit circulaire. Grâce à nos nombreuses observations plus ou moins laborieuses, nous avons pu déterminer à l'aide d'une seule séquence d'images, l'élongation présumée maximale d'Io.

Pour calculer la distance entre le centre d'Io et le centre de Jupiter, nous avons repris la même méthode que celle utilisée pour mesurer la taille de l'image de Jupiter sur le capteur. A l'aide de ce même logiciel, nous avons déterminé les coordonnées x et y entre le centre d'Io et le bord gauche de Jupiter (c'est-à-dire les coordonnées représentées par la ligne médiane blanche), tout en ajoutant un demi diamètre de Jupiter (ligne médiane rouge), précédemment relevé et ce, pour une plus grande précision.

En utilisant les coordonnées x et y de l'image du 5 février 2005 :

$$\mathbf{A} (20 ; 159) \text{ et } \mathbf{B} (255 ; 160)$$

et disposant des éléments suivants :

taille en pixel :

$$\sqrt{55226} \pm 2,6 [pixels]$$

taille en microns :

$$\sim 1316 \pm 14,8 [\mu m]^2$$

distance entre Io et la Terre le 5 février à 23h31 :

$$4,919 [ua] \cong 735'871'926 [km]$$

En utilisant la même formule que pour calculer le diamètre, on peut calculer la distance en le centre d'Io et le bord gauche de Jupiter :

$$\sim 345'000'000 \pm 400'000 [m]$$

¹ Source : Formulaires et Tables, CRM, CRP et CRC
² Glossaire ; page 49

et la distance entre le centre d'Io et le centre de Jupiter :

$$A \cong 416'000'000 \pm 2'400'000 [m]^1$$

Ce manque de précision s'explique aisément par le fait que notre prise de vue n'a pas été faite au moment précis de l'élongation maximum, mais un peu avant.

Il restait à évaluer la valeur de T , soit le temps (en secondes) mis par Io pour parcourir une orbite complète autour de Jupiter. En plus de nos nombreuses observations, nous avons relevé qu'entre le 5 juillet à $22h09min56sec^2$ et le 28 juillet à $22h08min07sec^3$, le satellite galiléen avait effectué 13 révolutions complètes autour de Jupiter. Etant donné que nous possédions le temps mis par Io pour effectuer ses 13 révolutions sidérales, la distance parcourue en une seule révolution, il était relativement simple de calculer le temps qu'Io mettait pour effectuer une seule révolution autour de Jupiter, soit la valeur T .

Le fait d'observer sur une durée de plusieurs révolutions a pour conséquence de diminuer l'erreur sur T .

A l'aide d'une seconde formule mathématique, nous avons pu calculer cette valeur, soit :

$$T = \frac{22,9987}{13} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \cong 152'000 \pm 3100 [s]^4$$

En remplaçant T et A dans notre première équation, par nos propres valeurs :

$$\frac{T^2}{A^3} = \frac{4 \cdot \pi}{G \cdot M}$$

$$\frac{(152'853)^2}{(416'573'441)^3} = \frac{4 \cdot \pi^2}{6.67259 \cdot 10^{-11} \cdot M}$$

nous avons pu déterminer, par nos observations et autres calculs, que Jupiter présentait entre le 5 février et le 18 mars 2005, une *masse*⁵ de :

$$M \cong 1,83059 \times 10^{27} \pm 7,2 \times 10^6$$

¹ Distance Io-Jupiter donnée à 421'240 km, source de la NASA Solar System Exploration
² Heure réelle d'observation consignée par les auteurs
³ Heure d'immersion théorique fondée sur l'heure réelle d'observation augmentée de 13 révolutions sidérales d'Io autour de Jupiter. La révolution sidérale d'Io autour de Jupiter nous a été donnée par la NASA Solar System Exploration à : 1.769137786 j.
⁴ Période de révolution sidérale d'Io autour de Jupiter donnée à 152853,5232 secondes par la NASA Solar System Exploration
⁵ La NASA Solar System Exploration définit la masse de Jupiter à : $1,893 \times 10^{27}$

CALCUL DE LA VITESSE DE PROPAGATION DE LA LUMIÈRE

Nos calculs sont fondés sur les données du *tableau*¹ ci-dessous. Heures théoriques d'immersions d'Io calculées par le logiciel Jupiter 2.0. Période de révolution sidérale d'Io et distance Terre-Jupiter calculées par la *NASA Solar System Exploration*².

Date	Heure théorique d'immersion	Heure réelle d'observation	Différence constatée	Distance Terre-Io en ua
4 avril 2005	22 :31 :00	22 :31 :00	00 :00 :00	4.459
5 juillet 2005		22 :09 :56		5.426
7 juillet 2005	16 :37 :29			
9 juillet 2005	11 :05 :02			
11 juillet 2005	05 :32 :35			
13 juillet 2005	00 :00 :08			
14 juillet 2005	18 :27 :41			
16 juillet 2005	12 :55 :14			
18 juillet 2005	07 :22 :47			
20 juillet 2005	01 :50 :20			
21 juillet 2005	20 :17 :53			
23 juillet 2005	14 :45 :26			
25 juillet 2005	09 :12 :59			
27 juillet 2005	03 :40 :32			
28 juillet 2005	22 :08 :05	22 :27 :32	00 :19 :27	5.771
20 août 2005	22 :06 :14	22 :58 :05	00 :51 :51	6.067

Le tableau ci-devant expose principalement :

Les dates d'observations ;

les heures théoriques d'immersion calculées, par addition à l'heure de la première observation des heures provenant des 13 révolutions sidérales d'Io sur une période déterminée, soit entre le 5 juillet et le 28 juillet 2005 ;

les heures réelles des observations, c'est-à-dire les heures consignées par les auteurs lors de leurs propres observations, avec une incertitude de ± 4 minutes, qui va se répercuter sur l'ensemble des données horaires du tableau.

En consultant l'ensemble des notes prises sur le terrain (coordonnées locales : longitude, $6^{\circ} 53' 57''$ E – latitude, $46^{\circ} 26' 56''$ N), nous avons relevé que 13 périodes d'observation consécutive avaient été nécessaires pour pouvoir contempler à nouveau l'immersion d'Io derrière le disque jovien.

Dans une première approche mathématique, en prenant en compte la différence de temps entre les heures théoriques d'immersion et les heures réelles des observations, le résultat affichait un facteur dix fois inférieur à la vitesse théorique de propagation de la lumière.

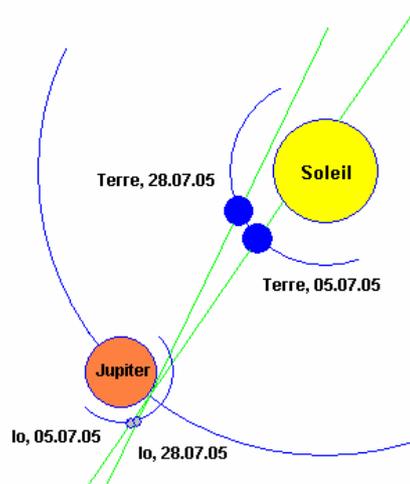
¹ Tableau réalisé par les auteurs

² Période de révolution sidérale moyenne d'Io : 1.769138 j ou 1 j 18h 27min 33sec et distance Terre-Jupiter : 149 597 870,691 Km x 6,067 ua

Après analyse, nous avons pu déterminer que cette différence s'expliquait par le changement d'angle de vision entre la Terre et Jupiter, ce qui eut pour conséquence de retarder l'immersion d'Io derrière le disque jovien.

En résumé, nous avons constaté que l'immersion se produisait alors que le satellite Io parcourait un chemin plus grand que son orbite. Cette modification d'angle de vision nous a obligé à trouver la différence angulaire horizontale entre deux immersions visibles.

Dans un souci d'information, nous avons décidé de *modéliser*¹ la vision de cette modification d'angle au sein d'une libre réduction du système solaire.



Les échelles des tailles, des distances et des orbites ne sont pas respectées

Pour calculer cette différence, nous avons repris l'ensemble de nos notes et avons relevé, à l'aide du logiciel de référence RedShift 4, les coordonnées du repère équatorial sur la sphère céleste locale (*déclinaison*² et *ascension droite*³) d'Io, lors de deux immersions visibles et successives à des dates précises :

5 juillet 2005 : Ascension droite : 12h39min48sec
Déclinaison : $-02^{\circ}53'05'' \pm 00^{\circ}00'01''$

28 juillet 2005 : Ascension droite : 12h49min12sec
Déclinaison : $-03^{\circ}58'18'' \pm 00^{\circ}00'01''$

Différence d'ascension droite :

$$(12h49min12sec) - (12h39min48sec) = 9min24sec$$

$$9min24sec \Rightarrow 2,35^{\circ} \pm 0,083^{\circ}$$

Différence de déclinaison :

$$(-02^{\circ}53'05'') - (-03^{\circ}58'18'') \cong 1^{\circ}5'13'' \pm 00^{\circ}00'02''$$

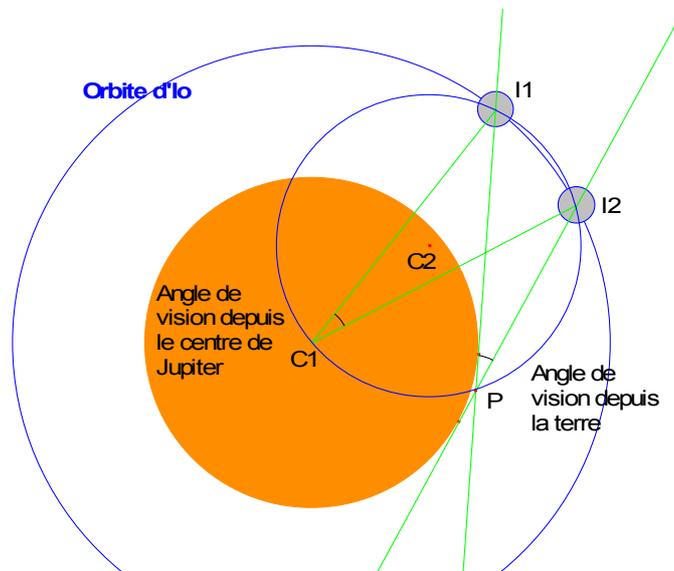
$$1^{\circ}5'13'' \Rightarrow 1,083^{\circ} \pm 0,083^{\circ}$$

¹ Dessin réalisé par les auteurs
² Glossaire ; page 46
³ Glossaire ; page 44

Par Pythagore, on obtient la différence d'angle pour Jupiter entre le 5 et 28 juillet 2005 :

$$\sqrt{2,35^2 + 1,083^2} = 2,5^\circ \pm 0,1^\circ$$

Sur le *dessin*¹ ci-après, on observe que l'angle formé depuis la Terre est le même que celui formé depuis le centre de Jupiter. Comme on peut le voir sur ce dessin, nos deux angles sont inscrits dans le même cercle et, découpent le même arc de cercle (théorème de l'angle inscrit).



Les échelles des tailles, des distances et des orbites ne sont pas respectées

Donc, pour en déduire la différence de temps, on doit rechercher la durée que met Io pour parcourir l'angle trouvé ci-dessus (5 et 28 juillet 2005).

Si l'on admet que l'orbite d'Io est circulaire et que sa période de révolution nous est connue, on obtiendra la période de révolution d'Io divisé par 360°, soit :

$$\frac{1,769138}{360} = \text{temps mis par Io pour parcourir } 1^\circ \text{ sur son orbite.}$$

En conséquence, pour connaître le temps nécessaire à Io pour parcourir un angle, dans notre cas cet angle est de $2,5^\circ \pm 0,1^\circ$, on procède comme suit :

$$2,5 \cdot \frac{1,769138}{360} = 0,012 \pm 0,0005 [j]$$

$$\Rightarrow 0,012 \cdot 24 \cdot 60 = 18 \text{ min } 18 \text{ sec}$$

En soustrayant le résultat obtenu ci-dessus à la différence constatée le *28 juillet 2005*², on obtient : 1min 9sec.

¹ Dessin réalisé par les auteurs
² Tableau, page 37

En appliquant la formule suivante :

$$\frac{\text{distance [km]}}{\text{temps [s]}} = \text{vitesse [km / s]}$$

nous avons pu déterminer, par nos observations et autres calculs, que la vitesse de propagation de la lumière s'établissait à :

$$\frac{0.345[ua] \times 149597871[km]}{69[s]} \cong \mathbf{747'989 [km / s]}^1$$

Le résultat de 747'989 km/s peut paraître excessif, mais compte tenu du peu de temps à notre disposition pour nos observations, nos prévisions se sont avérées exactes.

Pour étayer notre propos, nous nous sommes permis de refaire tous les calculs, en prenant soin de relever les heures théoriques d'immersion d'Io données par les logiciels RedShift 4 et Jupiter 2.0, entre le 4 avril et le 20 août 2005 et, avons relevé que notre vitesse de propagation de la lumière avait évolué vers un résultat plus convenable :

$$\approx \mathbf{167'466 [km / s]}$$

Ceci démontre à l'évidence que, pour déterminer avec précision la vitesse de propagation de la lumière, non seulement le facteur temps joue un rôle prépondérant, mais la clarté du ciel aussi. Römer l'avait bien compris !

¹

Römer, au XVII^{ème} siècle, détermina la vitesse de la lumière, après plusieurs années d'observation du système jovien, à 214 300 km/s. Aujourd'hui, la NASA Solar System Exploration nous donne cette vitesse à 299 792.457777 km/s

SOURCES D'ERREURS ET DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

Jupiter ne présente pas une bordure de grande netteté. On peut en attribuer la raison à son épaisse atmosphère en perpétuel mouvement, à l'effet ondulatoire de la lumière au travers des couches terrestres ;

à l'observation, Io ne présente pas l'aspect d'un point, mais celui d'un minidisque. Ce qui revient à dire que son immersion ou éclipse derrière ou par Jupiter n'est pas instantanée mais graduelle, sur approximativement quatre minutes, ce qui complique grandement la prise de mesures horaires précises ;

le cône d'ombre de Jupiter n'étant pas toujours égal, l'émersion ou réapparition d'Io peut donc prendre un certain temps. Ce temps est très variable au fil des mois ;

en période de conjonction, Jupiter se trouve dans l'alignement du Soleil, ce qui rend toute observation impossible pour les observateurs sur Terre ;

en période d'opposition, l'ombre de Jupiter est totalement cachée par le Soleil, l'observation des éclipses d'Io, par le disque jovien, devient possible. Pour autant que l'éclipse se produise en pleine nuit et par temps clair ;

de fin mars à fin juin, Jupiter a été correctement observable, les phénomènes d'immersion et d'émersion de ses satellites parfaitement visibles. Début juillet, Jupiter, qui est entrée en quadrature Est, avait une visibilité réduite de par sa position très basse sur l'horizon. Sachant que le satellite galiléen Io met environ 1,769 jour pour faire une révolution sidérale autour de Jupiter, l'observation de son émersion derrière le cône d'ombre du disque jovien a été impossible dès la mi-juillet ;

dans notre région, il est fort difficile d'observer dans de bonnes conditions et par faible pollution lumineuse, Jupiter et ses satellites, sur une année.

CONCLUSION

Nous avons remarqué que la technique utilisée pour l'acquisition d'images, à l'aide d'une petite caméra ccd, nous a apporté un rendement bien supérieur à celui que l'on aurait pu obtenir avec des appareils photographiques argentiques conventionnels.

Sur la base de nos images numériques, il nous a été possible d'effectuer des mesures et des calculs avec grande précision. A titre d'exemple, le diamètre de Jupiter a pu être mesuré avec une précision d'environ 98,5 %, ce qui revient à dire que le capteur de la ToUcam est à considérer comme excellent, pour les astronomes amateurs.

Pour déterminer la masse de Jupiter, nous avons utilisé ces mêmes images pour y relever quelques autres mesures, la 3^{ème} loi de Képler et la loi sur l'attraction ou gravitation universelle d'Isaac Newton.

Pour ce qui est du calcul de la vitesse de propagation de la lumière, si le résultat peut paraître, à fortiori, incorrect, le manque de temps en est la principale cause.

De toute évidence, il aurait été impossible de trouver des valeurs identiques à celles obtenues par quelques organismes scientifiques professionnels. Néanmoins, il est gratifiant de pouvoir s'en approcher avec des moyens matériels bien moins sophistiqués et à la portée de tous.

Aujourd'hui, on est en droit de dire que la communauté des astronomes professionnels ne pourrait pas consacrer autant de temps à quelques missions plus spécifiques, comme l'observation de planètes extra-solaires, l'exploration des galaxies et autres études physiques stellaires, sans quelques soutiens de la communauté des astronomes amateurs. Pour de nombreux passionnés, la surveillance des étoiles variables, la découverte et l'observation de comètes, d'astéroïdes, de novae et supernovae, l'observation et le recensement des taches solaires, la mesure d'étoiles doubles, reste un passe-temps ô combien fascinant.

BIBLIOGRAPHIES

OUVRAGES GÉNÉRAUX

ACKER, Agnès et JASCHEK, Carlos, 1995, *Astronomie, Méthodes et Calculs*, 3^e éd, Paris : Masson

BETHUNE, Christophe, 2003, *Astronomie & Webcam*, Vannes : Burillier

CANNAT, Guillaume, 2004, *Le Guide du Ciel 2004-2005*, Paris: Nathan

KEPLER, Jean, 1986, *Tables Rudolphines*, Paris : Albert Blanchard

KEPLER, Jean, 1993, *Mille logarithmes et supplément aux Mille*, Paris : Albert Blanchard

MEEUS, Jean, 1986, *Calculs astronomiques à l'usage des amateurs*, Paris : Société Astronomique de France

NEWTON, Isaac, *Principes mathématiques de la philosophie naturelle*, Paris, 1759 ; réimpression Jacques Gabay, 1990

EXPLORATION INTERNET

BERGERON, Denis, Val-des-Bois, Quebec, Canada, http://astrosurf.com/d_bergeron/

BUIL, Christian, Toulouse, <http://www.astrosurf.org/buil/>

CANICIO, Axel, Alès, <http://www.geocities.com/acanicio/>

CHAMBERS, Steve, *Modification de la ToUcam Pro de Philips pour l'acquisition de poses longues en ciel profond*, Norwich, <http://www.pmdo.com/>

COLLART, Michel, *Emergence d'un nouvel équipement - Campagne d'observation de la planète Mars*, <http://www.saf-lastronomie.com/planetes/Mars/Mars01/instruments.htm>

DEMANGE, Thierry, Illkirch, Alsace, <http://tdemange.club.fr/index.html>

DENNEFELD, Michel, *400^{ème} anniversaire de la découverte de la Supernova de Kepler*, http://www.internet.iap.fr/Actualites/DernieresNouvelles/Kepler_09102004/program.html

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides, Observatoire de Paris, <http://www.imcce.fr/page.php?nav=fr/ephemerides/phenomenes/ephesat/phenomena.php>

NASA Solar System Exploration, Orlando, <http://solarsystem.nasa.gov>

RONDI, Sylvain, Tarbes, <http://www.astrosurf.com/rondi/>

Société Astronomique de France, Paris, <http://www.astrosurf.com/saf/>

Université de Lyon 1 - Claude Bernard, Section signal et image, *Traitement d'images*, http://www710.univ-lyon1.fr/club_EEA/cours/sommaire_image.html

PRINCIPALES REVUES SCIENTIFIQUES FRANCOPHONES

Astronomie magazine (mensuel)
3, rue du Puits d'Argent, F-02240 Itancourt

Ciel & Espace (mensuel édité par l'Association française d'astronomie)
17, rue Emile-Deutsch-de-la-Meurthe, F-75014 Paris

GLOSSAIRE

ABERRATION CHROMATIQUE : défaut optique se présentant sous la forme d'une frange colorée bordant l'objet observé. Ce défaut est très présent sur les lunettes d'entrée de gamme ; il ne touche pas les télescopes.

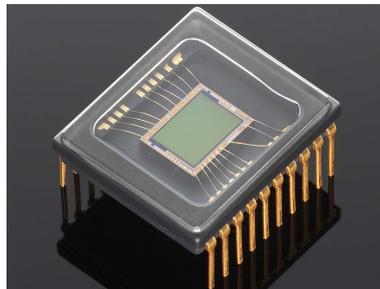
ABERRATION DE SPHÉRICITÉ : défaut de forme d'une lentille ou d'un miroir de télescope. Les rayons lumineux provenant du bord et du centre de l'optique n'ont pas le même foyer.

ALT-AZIMUTALE : terme qui traduit le type de construction en forme de U (ou à fourche) qui équipe bon nombre de télescopes catadioptriques Schmidt-Cassegrain pour professionnels et pour amateurs. Deux servomoteurs indépendants, pilotés par un ordinateur intégré à la base, permettent de faire bouger l'ensemble fourche et tube optique tant en position horizontale (azimut) que verticale (altitude) pour un suivi précis.

APHÉLIE : point de l'orbite d'une planète ou d'une comète le plus éloigné du Soleil.

ASCENSION DROITE : coordonnée de la sphère céleste. A l'échelle de la Terre, ce sont des demi-cercles verticaux qui relient les deux pôles. Le plus important est le méridien de Greenwich (ville au Sud de Londres). Il y en a 180 à l'Est et autant à l'Ouest. Ils sont numérotés de 0 (méridien de Greenwich) à 180 (ligne de changement de date). La distance qui sépare un méridien de celui de Greenwich est appelée longitude.

CCD : acronyme anglo-saxon de "Charged Coupled Device" ou "dispositifs à transfert de charges" (DTC).



Capteur CCD Sony ICX098BQ¹ couleur de la ToUcam Pro II Philips

En simplifiant, le CCD est un composant de silicium de plusieurs millions de cellules microscopiques carrées ou rectangulaires photosensibles (photosites) et de microcircuits électroniques gravés. Chaque photosite va transformer la quantité de lumière reçue en une charge électrique plus ou moins élevée. Cette charge sera convertie en un signal numérique codé en mode binaire. Ce composant a été inventé par George Smith et Willard Boyle en 1969. Ces deux scientifiques de Bell Labs, Murray, New Jersey, USA, sont les co-inventeurs du premier dispositif à transfert de charge.

Dans un premier temps, le composant a été offert aux scientifiques pour sa performance de détection et sa sensibilité à une large bande de longueur d'ondes lumineuses allant de 400 nm (ultra-violet - UV) à 1 mm (infrarouge - IR) et dans un second temps, il a été intégré, à partir de 1995, au cœur des caméras vidéo, appareils photos numériques et autres webcams.

¹ Source : Sony Electronics Inc., Component Solutions Business Division, San Jose, CA (USA)

COLLIMATION : terme utilisé pour régler l'alignement du système optique d'un télescope. Il faut savoir que les performances d'un Schmidt-Cassegrain peuvent s'altérer rapidement, si le système optique n'est pas correctement réglé après quelques déplacements en campagne. On peut comparer les images délivrées par un télescope décollimaté à celles d'un instrument de musique désaccordé. Ce phénomène péjore, par manque d'information, tout achat d'un Schmidt-Cassegrain par quelques futurs observateurs. Sur les Schmidt-Cassegrain du commerce, l'unique réglage accessible se trouve au centre de la lame correctrice. Trois vis poussantes-tirantes permettent de modifier l'orientation du miroir secondaire. La méthode de collimation ne comporte aucun risque, pour autant que l'on se limite à quelques règles. Les vis doivent être visées ou dévissées l'une après l'autre, avec une très faible amplitude. Un contrôle visuel, sur une étoile de référence défocalisée ou plus simplement agrandie, se fera à travers l'oculaire à chaque fraction de tour sur une des trois vis. Un télescope fortement décollimaté nécessitera de faire $\frac{1}{4}$ de tour à l'une des trois vis au maximum.

Image d'un télescope *décollimaté*¹ (l'étoile ponctuelle est observée à fort grossissement)

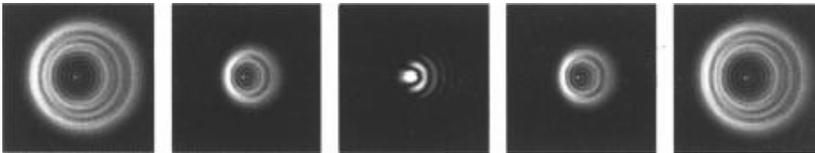
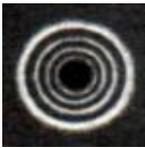


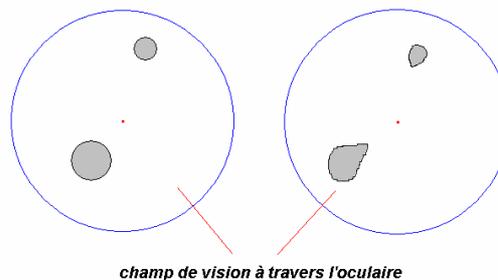
Image d'un télescope *collimaté*



COMA (LA) : aberration qui génère une sorte de traînée conique (comète) des étoiles vers le *centre du champ*². Ceci s'explique par le fait que les rayons qui passent par la périphérie de la lentille ne sont pas focalisés au même endroit que ceux qui passent près du centre. La forme de la traînée résulte de la superposition des images partielles qui passent à des distances différentes de l'axe optique.

On peut limiter cette aberration en diaphragmant artificiellement la lame correctrice (c'est-à-dire en réduisant le diamètre de la zone où la lumière peut pénétrer, à l'image des lamelles mobiles insérées dans les objectifs photographiques, entre deux groupes de lentilles).

image d'étoiles idéales *image avec aberration de coma*



¹

Images : Denis Bergeron, membre de la Fédération des astronomes amateurs du Québec

²

Dessin réalisé par les auteurs

CORRECTEUR-RÉDUCTEUR DE CHAMP¹ : additif optique de très grande qualité, sans aberrations identifiées. Il est fortement conseillé pour faire de l'imagerie CCD du ciel profond avec un Schmidt-Cassegrain. Les correcteurs actuels sont déjà pourvus d'un réducteur de champ.



COULANT : exprime le *diamètre*² extérieur de la jupe de l'oculaire ou par analogie, le diamètre intérieur du porte-oculaire du télescope. Il existe trois diamètres : 24,5mm, 31,75mm (coulant standard) et 50,8mm. Le coulant 24,5mm est exclusivement réservé aux instruments bas de gamme et présentent peu d'intérêt pour les astronomes.



DÉCLINAISON : coordonnée de la sphère céleste. A l'échelle de la Terre, ce sont des cercles horizontaux parallèles. Le plus important est l'Equateur. Il y en a 90 dans chaque hémisphère. Ils sont numérotés de 0 (Equateur) à 90 (Pôle). La distance qui sépare un parallèle de l'Equateur est appelée Latitude.

DE ROTATEUR : petit *appareil électro-mécanique*³ qui se place sur la cellule arrière du Schmidt-Cassegrain. Il est piloté par l'ordinateur interne du télescope. Il remplace avec bonheur la table ou cale équatoriale. Il permet de garder des étoiles ponctuelles lors de longues poses photographiques en mode altazimutal, sans avoir à faire une mise en station, souvent laborieuse, sur l'étoile polaire, avec une monture équatoriale. Malheureusement pour l'amateur, cet appareil est encore fort onéreux.



1

Source : Célestron 2835 Columbia Street, Torrance, CA 90503, USA

2

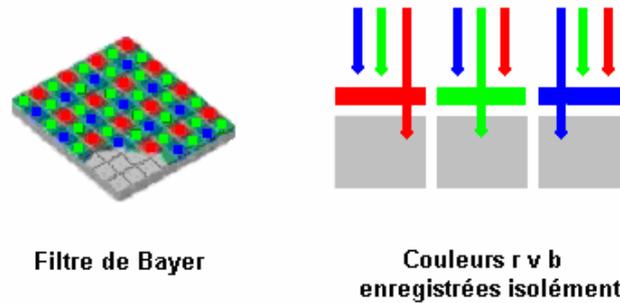
Source : Tele Vue Optics, Inc., 32 Elkay Dr., Chester, NY 10918, USA

3

Source : Meade Instruments Corporation, 6001 Oak Canyon Irvine, CA 92618, USA

FILTRE SPÉCIALISÉ DE BAYER : filtre coloré (rouge, vert et bleu ou rvb) placé devant chaque photosite et qui restitue la composante Rouge, Verte ou Bleu de la lumière blanche frappant le photosite.

Quatre filtres colorés sont en général associés à un quadruplet de photosites (1 Rouge, 1 Bleu et 2 Verts), ce quadruplet constituera le plus petit élément de l'image appelé pixel.



*Filtre coloré*¹ (Rouge, vert ou bleu) placé devant chaque photosite et qui restitue la composante Rouge, Verte ou Bleu de la lumière blanche frappant le photosite.

Quatre filtres colorés sont en général associés à un quadruplet de photosites (1 Rouge, 1 Bleu et 2 Verts), ce quadruplet constituera le plus petit élément de l'image appelé pixel.

Pourquoi y a-t-il plus de filtres verts ? La réponse est fort simple, l'oeil humain ne permet de voir qu'une partie de la lumière comprise entre ce que nous appelons le violet (400 nm) et le rouge (700 nm). Ainsi la couleur verte (550 nm environ) engendre une sensibilité maximum.

Go-To : système de guidage automatique qui équipe les télescopes actuels. Il dispose des coordonnées de quelques centaines à plus de 150'000 objets. Les modèles les plus complets disposent en mémoire des catalogues de Messier (M), de Dreyer (NGC et IC), stellaires (Bright Star et SAO), mais également les noms ou astérismes des principales planètes, des astéroïdes, des comètes, y compris parfois ceux des principaux satellites artificiels et autre station spatiale ISS. Elles permettent aussi d'encoder manuellement les paramètres de quelques dizaines d'astres supplémentaires.

Pour l'astronome averti, ce genre d'outil devient vite indispensable. Pour l'amateur occasionnel, le GOTO lui offre de voir enfin de ses propres yeux les nébuleuses et les fameuses galaxies qu'il a vu dans les livres spécialisés, sans avoir à gérer les erreurs de coordonnées. Combien d'astronome ont perdu des minutes pour localiser ces galaxies et autres nébuleuses.

GPS : système de positionnement global (GPS) de navigation par satellite composé d'un réseau de 24 satellites placés en orbite autour de la Terre. Le GPS fonctionne indépendamment des conditions atmosphériques, n'importe où dans le monde, 24 heures sur 24 sur 16 canaux. Il recueille la date, l'heure et les coordonnées géographiques pour mettre en station et aligner automatiquement l'instrument.

Développé par le Ministère de la Défense nationale des USA, les satellites GPS sont maintenant largement employés par le public : bateaux, avions, excursionnistes à pied dans le désert et les automobilistes.

¹ Dessin réalisé par les auteurs

Le positionnement sur le ciel des actuels télescopes compacts Schmidt-Cassegrain est tout simplement automatique, grâce au module GPS installé dans leur fourche, leur système électronique de mesure de l'horizontalité et leur capteur magnétique indique l'exacte direction du pôle Nord (le logiciel interne compense la différence angulaire entre le pôle nord magnétique et le pôle nord géographique).



Réseau de satellites géostationnaires GPS à altitude quasi-identique de 36000 km¹

LE FILÉ D'ÉTOILES : phénomène qui donne l'aspect de petits arcs concentriques aux étoiles éloignées du centre de champ. Ce phénomène apparaît lors d'une longue exposition, même si le télescope est parfaitement guidé sur une étoile ponctuelle. Cet effet n'est pas lié à l'exactitude de l'ordinateur ou à l'alignement interne du télescope, il se produit sur tous les télescopes amateurs ou professionnels équipés d'une monture alt-azimutale.

Le filé peut être traité par addition d'une simple table ou cale équatoriale. La cale permet l'alignement polaire précis, annihilant cet effet. Il peut être éliminé en utilisant le rotateur du fabricant américain Meade, mais cet accessoire est relativement cher pour l'astronome amateur, soit près de *Frs 800.00*².



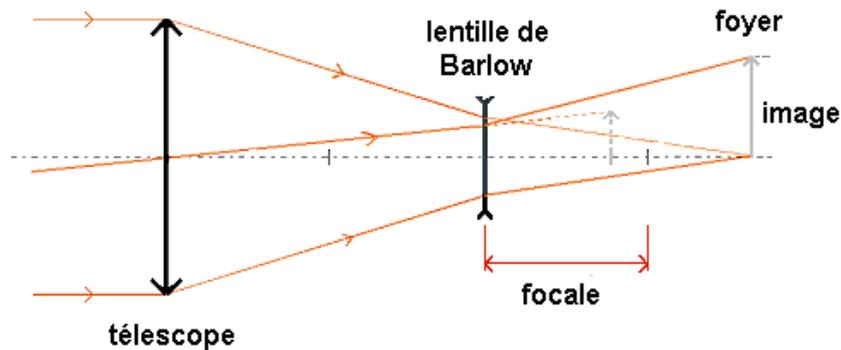
filé d'étoiles avec le château d'Ortenbourg (Alsace) au premier plan
Téléobjectif de 200mm à f/4 + Canon EOS 300D à 100 ISO – pose unique de 5mn³

¹ Source : Pentagone (USA)

² Source : GALILEO, rue de Genève 7, 1003 Lausanne

³ Photographie de Thierry Demange, membre de la Société Astronomique de France – Groupe d'Alsace

LENTILLE DE BARLOW¹ : dispositif optique fréquemment constitué de deux lentilles, créant un système divergent. Placée en duo avec un oculaire, elle permet de multiplier la focale apparente de ce dernier et, par définition, le grossissement résultant. La majorité des lentilles de Barlow les plus utilisées ont un coefficient multiplicateur entre 2 et 5x.



Que ce soit en visuel ou en imagerie CCD, un objet planétaire nécessite souvent d'augmenter la focale pour visualiser quelques détails.

Il faut savoir qu'une majorité de lentilles de Barlow classiques peuvent présenter quelques imperfections : vignettage, astigmatisme et autres aberrations de bord de champ. Al Nagler, fondateur de la société américaine *Télé Vue*² a conçu, fin des années 90, une nouvelle lentille de Barlow aux défauts quasi inexistants, la Powermate. Tous les tests ont démontré que les rayons de champ de la Powermate demeurent parallèles à l'axe optique grâce à un doublet de lentilles négatives et positives.

MÉRIDIEN : cercle contenant l'ensemble des points du globe terrestre ayant la même longitude. Le méridien sud d'un lieu est, pour un observateur situé dans l'hémisphère Nord, le cercle horaire où le Soleil culmine ou midi vrai.

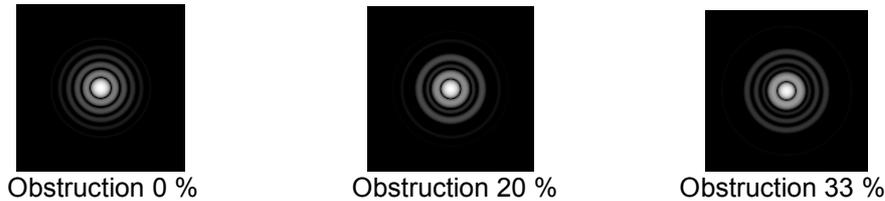
MONTURE ÉQUATORIALE : monture mobile autour de deux axes. Le premier, appelé axe polaire (ou horaire) est parallèle à l'axe de rotation de la Terre ; le second, appelé axe de déclinaison, est perpendiculaire au premier. Si l'on imprime à l'axe horaire une vitesse égale à la vitesse de la Terre mais en sens opposé, il y a compensation des deux vitesses et un objet céleste observé reste fixe dans le champ de l'oculaire. La monture suppose un réglage de latitude correspondant à celle du lieu d'observation (coordonnées locales du triangle Vevey-Montreux-Châtel-St-Denis : longitude, 6° 53' 57" E – latitude, 46° 26' 56" N). Elle permet de faire des photographies avec de longs temps de pause et autres mesures de diamètres stellaires d'étoiles.

µm (MICROMÈTRE) : un micromètre vaut 10⁻⁶ m ou 0,000 001 mètre.

¹ Peter Barlow, mathématicien et physicien anglais (1776-1862). Dessin réalisé par les auteurs.

² Télé Vue Optics, Inc., 32 Elkay Dr., Chester, NY 10918, USA

OBSTRUCTION : apparence graphique des anneaux de diffraction du disque d'Airy pour des obstructions comprises dans notre exemple, entre 0 % et 33 %. Dans la réalité, l'apparence du disque d'Airy¹ est plus diffuse.

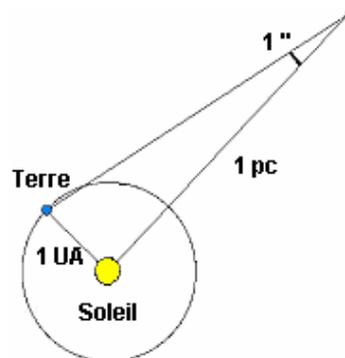


La diminution de lumière recueillie par le télescope est directement exprimée par la valeur de son obstruction en surface. On estime qu'un télescope obstrué à 20 % perd ainsi 4 % de lumière, tandis qu'un télescope obstrué à 33 % perd 11 % de lumière. Il a été constaté que, dans les fortes obstructions, la perte de lumière est minime : un télescope de 250 mm obstrué à 34 % recueille la même quantité de lumière qu'un télescope non obstrué de 235 mm de diamètre.

ORBITE : trajectoire, généralement elliptique, décrite par un objet naturel ou artificiel soumis au champ gravitationnel d'un autre objet considéré comme fixe. Dans le système solaire, les planètes, comme la Terre, orbitent autour du Soleil ; les satellites, comme la Lune, orbitent autour de leur planète.

Dans le cas d'un système binaire, où les masses en présence deviennent relativement comparables, les étoiles orbitent autour de leur centre de gravité.

PARSEC (pc)² : contraction de *parallactic second* représente une valeur égale à 206265 ua (unité astronomique). C'est la distance depuis laquelle on perçoit sous un angle d'une seconde d'arc, la terre et le soleil éloigné d'1 ua.



Comment calculer cette valeur :

$$\frac{1}{\tan\left(\frac{1}{3600}\right)} = 206265[ua] = 1 \text{ par sec}$$

¹ Etoile ponctuelle observée à fort grossissement entourée d'anneaux faiblement lumineux ou disque d'Airy (du nom de Sir George Biddell AIRY (1801-1892), Directeur de l'Observatoire de Greenwich, Angleterre). Images : Denis Bergeron, membre de la Fédération des astronomes amateurs du Québec, Montréal, Canada.

² Dessin réalisé par les auteurs

PÉRIHÉLIE : point de l'orbite d'une planète ou d'une comète le plus proche du Soleil.

PHOTOSITE : composant physique d'un capteur CCD souvent appelé à tort pixel. Le photosite est l'élément sensible qui capte la lumière. Un photosite délivre un courant (électrons) proportionnel à la quantité de photons (lumière) qu'il reçoit. Si l'on utilisait les données brutes délivrées par chaque photosite on obtiendrait une image en noir et blanc.

Pour avoir une image en couleur, il faut obliger chaque photosite à nous donner une couleur primaire. Pour cela on utilise un filtre spécialisé de type Bayer, composant constitué d'un quadruplet de filtres colorés collés à un quadruplet de photosites pour pouvoir reconstituer un point image élémentaire ou pixel en couleur.

A titre d'exemple, un quadruplet ne recevant que de la lumière bleue, seul le filtre bleu laissera passer de la lumière. Ce qui revient à affirmer que seul le photosite bleu pourra produire du courant et ainsi de suite.

En résumé, si un quadruplet est éclairé par de la lumière blanche (spectre visible de la lumière), les quatre photosites, recevant une même quantité de lumière à travers le filtre de Bayer, produiront un courant identique pour recomposer ladite lumière blanche.

En fonction de la sensibilité de l'oeil humain à la lumière du jour, chaque quadruplet est composé de 2 éléments verts pour seulement 1 rouge et 1 bleu.

En conclusion, si l'on considère les avancées technologiques en matière de résolution des nouveaux capteurs CCD pour webcams et autres appareils photographiques numériques, la finesse des gravures actuelles et l'utilisation de plus en plus fréquente du mode RAW (algorithmes passe-partout qui rendent l'image plus attractive pour l'œil) depuis 2004, il n'est plus sot de soutenir que le film argentique arrive au terme de sa vie !

PIXEL : acronyme anglo-saxon de "Picture Element" ou élément d'image le plus petit et le plus homogène. Il contient toujours une information relative à la luminosité, à une couleur ou à un ton spécifique que l'on ne peut distinguer à l'œil nu. Le pixel comporte jusqu'à 256 points par couleur. Le pixel est l'équivalent numérique du grain en photographie argentique. Il sert à mesurer la taille et la résolution d'une image.

RAPPORT F/D OU FOCAL/DISTANCE : rapport entre le diamètre et la distance focale du télescope. Il détermine l'ouverture du télescope et donc son usage en astronomie. Un rapport faible destine le télescope à être grand collecteur de lumière pour l'observation ou l'imagerie des objets du ciel profond. En revanche, un rapport élevé destine le télescope aux forts grossissements, nécessaires à l'observation ou l'imagerie des planètes.

SUPERNOVAE : étoile qui finit sa vie en explosant. En quelques jours, elle atteint une luminosité de près de 10 milliards de fois le Soleil; si elle explosait dans notre Galaxie, elle pourrait devenir visible en plein jour. C'est un phénomène rare.

TABLE OU CALE ÉQUATORIALE : table servant à compenser le mouvement de rotation de la terre si :

a) le télescope est mobile autour d'un axe parallèle à l'axe de rotation de la terre ou axe polaire. Cet axe dirigé sur Polaris ou étoile polaire fait donc avec l'horizon du lieu d'observation le même angle que la latitude du lieu.

b) le télescope est mobile autour d'un second axe perpendiculaire au précédent ou axe de déclinaison.

c) un moteur donne à l'instrument un mouvement uniforme autour de l'axe polaire d'un tour par 24 heures environ en sens contraire du mouvement diurne, ainsi le ciel semblera figé. L'ensemble doit être rigide et l'entraînement aussi souple et précis que possible.



Schmidt-Cassegrain, fixé sur une monture altazimutale à fourche, équipé d'une cale équatoriale¹

TEMPS UNIVERSEL (TU OU UT) : temps solaire moyen de l'ancien Royal Observatory de Greenwich, sud-ouest de Londres + 12 heures. Ce qui revient à dire qu'à midi local le soleil vrai est aux environs du *méridien local*².

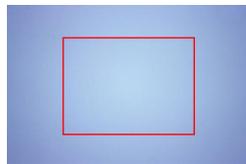
Le temps universel peut être défini comme le temps local au méridien zéro ou méridien origine qui va du pôle Nord au pôle Sud en passant par Greenwich.

Les heures locales sont fonction du fuseau horaire légal de rattachement et de l'heure légale d'hiver (TU + 1h pour la Suisse) ou d'été (TU + 2h pour la Suisse). Les éphémérides sont données soit en TU ou heures locales. Cette donnée est toujours à vérifier en astronomie.

UNITÉ ASTRONOMIQUE (UA) : unité utilisée pour mesurer les distances dans le système solaire et qui est égal au rayon moyen de l'orbite terrestre, soit 149 597 870,691 km. Lorsque la Terre est à exactement 1 ua du Soleil, sa lumière met un peu plus de 8 minutes pour nous parvenir (8 min 19 s).

VIGNETTAGE : obscurcissement périphérique dû au manque de largeur du champ de pleine lumière d'une optique par rapport à la taille du capteur CCD (il s'agit d'une géométrie incontournable de la formule optique utilisée et non d'un manque de qualité).

L'utilisation d'un correcteur-réducteur de champ de mauvaise qualité induit également un fort vignettage, à l'image de quelques zooms utilisés par les photographes amateurs.



Les échelles des tailles ne sont pas respectées

La zone ronde et claire ci-dessus représente le champ de pleine lumière. Le plan du film réflex 24x36mm est représenté par le *rectangle rouge*³. Le vignettage est l'absence progressive de lumière en bordure du champ.

¹ Source : Meade Instruments Corporation, 6001 Oak Canyon Irvine, CA 92618, USA

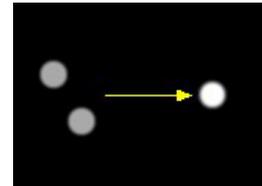
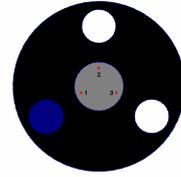
² Le méridien local est le méridien passant par le lieu où se trouve l'observateur

³ Source : Guy A. Ducret, Baugy s/Clarens, membre de l'Astro Club Aigle

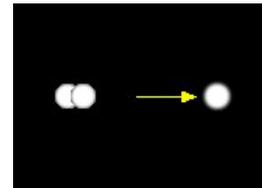
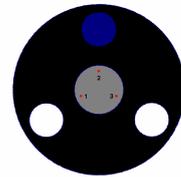
ANNEXE I

COLLIMATION DU SCHMIDT-CASSEGRAIN AVEC LE DISQUE D'HARTMANN

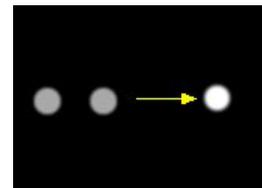
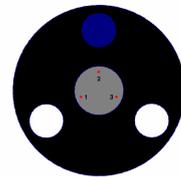
1.1 La première étape consiste à viser une étoile ponctuelle et à faire sa mise au point, puis à placer avec délicatesse le disque d'Hartmann, sur la lame correctrice. A ce niveau du travail, il suffit de recouvrir le trou en face de la vis de collimation 1 et tourner le bouton de mise au point jusqu'à ce que les 2 étoiles, visibles dans l'oculaire, fusionnent en une seule.



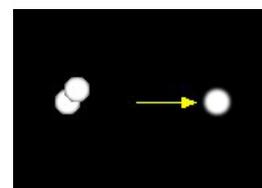
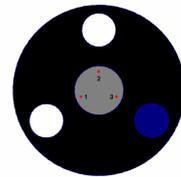
2.1 La deuxième oblige à enlever le bouchon du trou 1 et à recouvrir le trou 2. Si vous voyez non plus une mais deux étoiles légèrement séparées, il sera nécessaire de tourner la vis de collimation 1 jusqu'à ce que les deux étoiles fusionnent à nouveau en une seule.



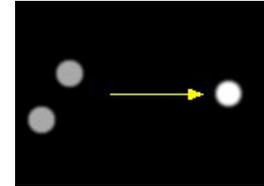
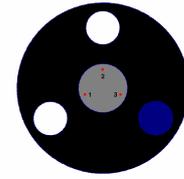
1.2 La troisième consiste à recouvrir le trou 2 et à tourner le bouton de mise au point de manière à ce que les deux étoiles fusionnent en une seule.



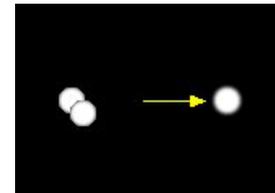
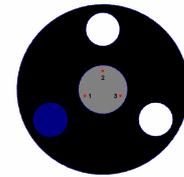
2.2 La quatrième consiste à enlever le bouchon du trou 2 et à recouvrir le trou 3. De la même façon que pour le point 2.1. Il est possible que les deux étoiles soient légèrement séparées. Tourner la vis de collimation 2 pour que les deux étoiles fusionnent à nouveau en une seule.



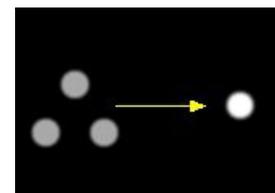
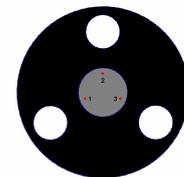
1.3 La cinquième consiste à répéter l'opération 1 en couvrant cette fois le trou 3, puis refaire la mise au point en faisant fusionner les deux étoiles.



2.3 La sixième consiste à enlever le bouchon du trou 3 et à recouvrir le trou 1. Si l'on observe deux étoiles légèrement séparées, la vis de collimation 3 sera utilisée de manière à ce que les deux étoiles fusionnent encore une fois.



3.1 Septième et dernière étape consiste à retirer tous les bouchons et à vérifier, en refaisant la mise au point, jusqu'à ce que les 3 étoiles fusionnent exactement en une seule. Si le résultat n'est pas encore parfait, toutes les opérations seront à reprendre depuis le point 1 en utilisant, cette fois, un oculaire à plus fort grossissement (par exemple un 9 mm à grand champ).



Quand la collimation du Schmidt-Cassegrain est jugée correcte, le disque ou masque d'Hartmann est retiré. Il est important de savoir que les vis de collimation se règlent par 1/12 à 1/8 de tour à chaque fois.

ANNEXE II

ASTROSNAP EN TOUTE SIMPLICITÉ

Primo, avant d'employer AstroSnap, il est nécessaire de créer un dossier *C:\mesavi* sur le disque dur de votre ordinateur. J'ose espérer que ce modeste travail informatique n'a plus guère de secret pour vous !

Secundo, branchez votre ToUcam Pro II de Philips au port USB de votre ordinateur !

Tercio, je vous demande d'ouvrir AstroSnap en cliquant sur l'icône située sur le Bureau de votre ordinateur. Entrez dans le monde des boutons radios qui sont dédiés au paramétrage d'AstroSnap et autre acquisition à la webcam...

Amorçons immédiatement le paramétrage. Cliquer sur le 4^{ème} bouton radio *Camera 1 : Démarrer* (le 4^{ème} depuis la gauche) se trouvant en dessous de la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.

A cet instant, une image apparaît dans *Source 1*.

Cliquez maintenant sur *Vidéo* qui se trouve sur la 1^{ère} barre, puis sur *Caméra 1*, puis sur *Format*. Dans *Format vidéo*, vous devez régler le paramètre Résolution sur 640 x 480 pour la ToUcam Pro II, puis sur *Appliquer* et finalement sur *OK*.

Cliquez sur *Caméra 1 : Mode image* (le 8^{ème} depuis la gauche) se trouvant en dessous de la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.

Maintenant vous pouvez régler les paramètres de votre webcam. Pour ce faire, cliquez sur le 6^{ème} bouton radio *Caméra 1 : Source* (le 6^{ème} depuis la gauche) se trouvant sur la barre en dessous de la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.

Dans le sous-menu *Source vidéo*, vous allez devoir modifier quelques paramètres. A droite de ce sous-menu, il y a un petit rectangle qui se nomme *Réglage*. Enlevez la coche *Entièrement automatique*. Dans le rectangle *Taux image*, cliquez sur le chiffre 15 (soit 15 pour Jupiter ou 10 pour Saturne). Dans le rectangle *Commandes d'images*, mettez tous les curseurs à 50%. C'est fait ? Si oui, je continue. Cliquez maintenant sur *Commandes caméra*. Dans le rectangle *Exposition*, déplacez le curseur *Vitesse d'obturation* sur 1/25 et le curseur *Gain* sur 50%, puis cliquez sur *Fermer*.

Cliquez maintenant sur le 9^{ème} bouton radio *Camera 1 : Mode flux* (le 9^{ème} depuis la gauche) se trouvant sur la barre en dessous de la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.

Cliquez sur *Résultat* (après Source 1, Source 2).

Cliquez sur le 20^{ème} bouton radio *Vitesse de rafraîchissement* (à titre de rappel, c'est le 20^{ème} depuis la gauche) se trouvant sur la barre en dessous de la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.

Le sous-menu *Affichage* est ouvert, Cliquez sous *Rafraîchissement*, dans ce nouveau menu vous allez devoir contrôler que *Vitesse* (image/sec) est bien sur 15. Si ce n'est pas le cas, effacez le chiffre et retapez 15. Contrôlez que *Temps de rafraîchissement* est sur 66 et les chiffres dans *Img/sec* se modifient en permanence. Fermez ce sous-menu.

Vous désirez avoir la date et l'heure sur vos AVI, il n'y a pas de problème ! Pour paramétrer la date et l'heure, une seule solution ! Pour cela, cliquez sur *Préférences* qui se trouve dans la 1^{ère} barre. Cliquez sur *Mire*, puis cochez avec la souris la case *Date/Heure* et fermez par un click sur *OK*.

Bien que ces préliminaires soient fastidieux à faire pour une 1^{ère} utilisation, avec l'habitude vous verrez que c'est un jeu d'enfant que de les reprendre !

Voilà, il est temps de penser à faire vos premiers AVI. Cliquez sur le 3^{ème} bouton radio *Ouvrir le séquenceur* (le 3^{ème} depuis la gauche) se trouvant sur la barre en-dessous de la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.

Dans le sous-menu *Images* qui vient de s'ouvrir, vous allez devoir modifier quelques paramètres avant de prendre votre tout premier AVI. Dans *Séquenceur* et rien que dans *Séquenceur*. Il va vous falloir dans un 1^{er} temps, modifier *Préfixe* en utilisant la commande *Parcourir* (*il temps de vous souvenir qu'au début de ce tutoriel, je vous demandais de créer, sur votre disque dur, un dossier C:\mesavi*) pour rechercher le dossier *mesavi*. Sous *Type*, cliquez sur *AVI*, puis dans *Images à enregistrer*, cochez *AVANT* le traitement.

On reprend toujours dans ce sous-menu *Séquenceur* à la dernière rubrique *Séquenceur* (*Suffixe*). Sous le chiffre 1, cochez *Une seule fois*. Sous le chiffre 2 *Enregistrer une image toutes les*, tapez le chiffre 1 et *images* à droite. Sous le chiffre 3, soit vous cochez avec la souris *Jusqu'à l'arrêt*, soit vous cochez *Pendant* et vous tapez *90* et *secondes* à droite (*ce qui revient à dire que vous allez réaliser un film AVI de Jupiter de 90 secondes par exemple*). Dans la colonne qui se trouve à la gauche, cochez avec la souris *Longueur fixe*, puis tapez le chiffre 4 (*soit une acquisition possible de 9999 films AVI*). Cochez avec la souris *Enregistrer Paramètres* (*ceci va sauvegarder tous vos paramètres de base pour vos futures acquisitions d'AVI*), puis cochez avec la souris *Un seul fichier* (auto) et pour finir, décochez *Durée d'exposition*.

Et maintenant, comment faire pour acquérir un objet planétaire ? Voilà une question qui mérite une réponse simple.

Votre sous-menu *Images / Séquenceur* étant toujours ouvert (*c'est à espérer que vous ne l'avez pas fermé... Vous l'avez fermé ? Pas de problème, cliquez sur le 3^{ème} bouton radio Ouvrir le séquenceur* (le 3^{ème} depuis la gauche) se trouvant sur la barre en-dessous de la barre d'état *Fichier, Vidéo, Fonctions, etc.* pour le faire réapparaître ! Placez maintenant votre ToUcam Pro sur le renvoi coudé de votre télescope et refocalisez (*netteté*) l'objet de vos désirs (*pour autant que le ciel puisse vous le permettre...*), cliquez avec la souris sur *Démarrer* et l'enregistrement de votre 1^{ère} acquisition d'un film AVI commence. N'oubliez pas de cliquer avec la souris sur *Arrêter* si vous n'avez pas paramétré, au préalable, un temps (*90 secondes par exemple pour Jupiter*) d'acquisition précis !

Un petit conseil, avant de vous lancer dans l'acquisition avec AstroSnap sur le terrain, exercez-vous bien au chaud. Les nuits sont fraîches en astronomie et ce n'est pas toujours facile d'utiliser du matériel informatique la nuit !

ANNEXE III

COMMENT TRAITER VOS AVI SOUS IRIS

Avant de traiter un film au format Windows AVI, vous devez impérativement indiquer à Iris le *Chemin du répertoire de travail*. Dans mon cas, j'ai créé sur le disque dur de mon portable, un fichier intitulé c:\fitiris\Jup30 pour traiter les images de notre AVI No 30.

Ouvrez Iris et déplacez-vous dans la barre d'état Fichier, Visualisation, Géométrie, etc, pour modifier quelques paramètres qui se trouvent dans *Fichier*, puis dans *Réglages*.

Conversion de l'AVI et traitement¹

Je vous offre deux possibilités (scripts) de traiter votre premier AVI au format logiciel FIT. Pour ce faire, vous devez convertir votre AVI en fichiers *.FIT r g b. Cliquez dans la barre d'état Fichier, Vidéo, Fonctions, etc., sur *Fichier*, puis sur *Conversion AVI* et finalement sur *Sélectionner* pour importer, depuis le disque dur de votre ordinateur, l'AVI que vous désirez traiter. N'omettez pas d'indiquer le Nom générique des trois canaux à traiter, soit pour le canal **rouge** = r, pour le canal **vert** = g et pour le canal **bleu** = b avant de cliquer sur *Convertir*. Après conversion de votre AVI, notez bien le chiffre de droite et ouvrez la fenêtre Commande, 11^{ème} bouton radio depuis la gauche, sous la barre d'état...

1^{er} script de traitement sur 1199 images converties et à traiter

Ce script vous offre la possibilité d'obtenir un aperçu rapide de votre premier objet. Vous pouvez retapez les scripts ci-dessous dans la fenêtre Commande, après le prompt >. N'oubliez pas de modifier les chiffres **250** (= +/- 1/5^{ème} des images converties) et **1199** (nombre d'images converties en *.FIT par Iris) avant de commencer tout traitement.

```
compute_trichro1 g r g b 256 250 1199
>load @r
>save r
>load @g
>save g
>load @b
>save b
>trichro r g b
>black
>savebmp jup_ga_18032005
```

Menu Traitement (à ne pas recopier, ouvrez simplement *Traitement* avec un simple click de souris)

Ondelettes ² :	Très fin	3.6
	Fin	16.5
	Moyen	3.6
Résidu	1.8	
Bord	1.23	
Pas de Masque flou		

¹ La liste complète des commandes est téléchargeable au format Word sur le site du concepteur

² Traitement permettant de séparer les détails à différentes échelles de l'image

N'oubliez pas de positionner le curseur de votre souris après chaque ligne de commande, tout en appuyant sur Enter pour la valider. Si le logiciel vous demande de tracer un rectangle (assez grand) autour de l'objet, faites-le en utilisant la souris. C'est correct !

ou **2^{ème} script de traitement** (sur **1199** images converties, **200** seront traitées)

Ce script est plus technique et plus fin, avec son super *flat*³ automatisé, mais ô combien plus efficace pour éliminer d'éventuelles poussières sur le capteur et autres défauts.

```

LOAD R1
>SCALECOLOR2 IR IG IB
>NOFFSET2 R RO 1199
>NOFFSET2 G GO 1199
>NOFFSET2 B BO 1199
>BESTOF R 1199
>SELECT R RO
>SELECT G GO
>SELECT B BO
>LOAD RO1
>LOAD RO200
>LOAD RO300
>LOAD RO250
>LOAD RO1
>PREGISTER RO ROR 512 200
>FILE_TRANS GO GOR 200
>FILE_TRANS BO BOR 200
>LOAD GO1
>FLAT GO 32767 0 120 2 904
>FILL2 120
>SAVE FLAT
>LOAD RO1
>DIV FLAT 120
>DIV2 RO FLAT RO 120 200
>DIV2 GO FLAT GO 120 200
>DIV2 BO FLAT BO 120 200
>LOAD GO1
>PREGISTER GO GOR 512 200
>FILE_TRANS RO ROR 200
>FILE_TRANS BO BOR 200
>LOAD ROR1
>ADD_NORM ROR 200

```

(suite à copier...)

```

>SAVE R
>LOAD R
>SAVE IR
>ADD_NORM GOR 200
>SAVE G
>LOAD G
>SAVE IG
>ADD_NORM BOR 200
>SAVE B
>LOAD B
>SAVE IB
>TR IR IG IB
>SCALECOLOR2 IR IG IB
>TR IR IG IB

```

Menu Traitement

Ondelettes ⁵ :	Très fin ⁶	12.6
	Fin	14.4
	Moyen	0.0
	Large	0.0
	Très large	0.8

Résidu 0.82
Bord case non cochée

Pas de Masque flou

>SAVEBMP Jup_Gan_18mars2005

A noter que la commande *trichro* ou *TR* recompose les couches rouges – vertes – bleues.

³ Flat ou PLU (Plage de Lumière Uniforme) permettant de corriger des imperfections de l'image dues à des traces, des poussières présentes sur le filtre de la webcam et autres défauts du film

⁴ Décomposition de la commande >FLAT GO 32767 0 120 2 90 (>Flat, fichier source, niveaux maximum, niveau minimum, intensité du pixel maximum, nombre d'itérations ou répétition des instructions, nombre d'images pour créer le flat – un maximum de 100 images est admis)

⁵ Il est impératif de réaliser un traitement par Ondelettes avant de sauvegarder le travail avec la commande >SAVEBMP Jup_Gan_18mars2005 (référence aux exemples de scripts ci-dessus)

⁶ Faites attention en utilisant la commande Ondelettes Très fin. Elle engendre du bruit (c'est-à-dire des signaux indésirables venant s'ajouter au signal dû à l'astre filmé)

Image obtenue sur la base du 2^{ème} script de traitement**Image avant traitement**

Image extraite de l'AVI No 30, 18.03.2005, TU 00h34

Image après traitement

Jupiter et Ganymède, 18.03.2005, TU 00h34

Ganymède est bien visible à la droite de Jupiter. L'image finale est brute, sans retouche cosmétique à l'aide d'un logiciel dédié aux images photographiques numériques comme Paint Shop Pro 8.

ANNEXE IV

EPHÉMÉRIDE DES SATELLITES DE JUPITER

Dans son tableau, l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (*IMCCE*) informe le public sur quelques phénomènes des satellites de Jupiter. Pour en comprendre le sens, nous avons détaillé ci-après les expressions abrégées et autres notes utilisées.

Satellite N°

I	=	Io
II	=	Europe
III	=	Ganymède
IV	=	Callisto

Type d'événements

Ec	[éclipse]
Oc	[occultation]
Tr	[transit]
Sh	[transit de l'ombre]

Phase

D	[disparition]
R	[réapparition]
I	[entrée]
E	[sortie]

Appréciations complémentaires

1 15 9.8	II.Ec.D	15h09	Date et début de l'éclipse d'Europe par Jupiter
20 15.2	II.Oc.R	20h15	Fin de l'occultation d'Europe
20 23.6	I.Sh.I	20h23	Début du passage de l'ombre d'Io devant Jupiter
21 32.9	I.Tr.I	21h32	Début du passage d'Io devant Jupiter
22 36.1	I.Sh.E	22h36	Fin du passage de l'ombre d'Io devant Jupiter
23 46.1	I.Tr.E	23h46	Fin du transit d'Io

Le ballet des quatre grands satellites galiléens¹ Io, Europe, Ganymède et Callisto peut s'observer aisément avec une lunette ou mieux encore avec un petit télescope Maksutov-Cassegrain de plus de 100mm de diamètre. Avec ce dernier instrument, Jupiter révélera deux larges ceintures brunâtres, parallèles à l'équateur.

Il est utile de savoir qu'à ce jour, 63 satellites ont été répertoriés tout autour de Jupiter, dont les quatre grands satellites galiléens en orbite dans un plan quasi équatorial.

¹ Les satellites de Jupiter ont été baptisés ainsi en l'honneur de l'astronome italien Galileo Galilei. Il les observa pour la première fois le 7 janvier 1610.

Juillet 2005

1	9	58.1	I.Tr.I	11	3	36.6	I.Oc.D	22	15	45.4	I.Tr.I
	10	36.9	II.Tr.I		7	5.0	I.Ec.R		16	57.0	I.Sh.I
	11	13.1	I.Sh.I	12	0	50.9	I.Tr.I		17	56.7	I.Tr.E
	12	9.1	I.Tr.E		2	5.1	I.Sh.I		18	36.6	II.Tr.I
	13	13.1	II.Sh.I		2	35.0	II.Tr.I		19	6.7	I.Sh.E
	13	19.2	II.Tr.E		3	2.0	I.Tr.E		21	5.3	II.Sh.I
	13	22.8	I.Sh.E		4	14.7	I.Sh.E		21	19.2	II.Tr.E
	15	51.6	II.Sh.E		5	9.5	II.Sh.I		23	43.2	II.Sh.E
2	7	11.8	I.Oc.D		5	17.5	II.Tr.E	23	13	1.6	I.Oc.D
	10	41.1	I.Ec.R		7	47.7	II.Sh.E		16	26.6	I.Ec.R
3	4	26.8	I.Tr.I		22	5.8	I.Oc.D	24	10	14.7	I.Tr.I
	5	12.3	II.Oc.D	13	1	33.9	I.Ec.R		11	25.7	I.Sh.I
	5	41.8	I.Sh.I		19	19.8	I.Tr.I		12	26.0	I.Tr.E
	6	37.8	I.Tr.E		20	33.7	I.Sh.I		13	4.2	II.Oc.D
	7	23.3	III.Oc.D		21	6.6	II.Oc.D		13	35.4	I.Sh.E
	7	51.4	I.Sh.E		21	31.0	I.Tr.E		18	5.3	II.Ec.R
	10	7.7	III.Oc.R		22	43.4	I.Sh.E		19	38.1	III.Oc.D
	10	21.9	II.Ec.R	14	1	17.5	III.Tr.I		22	23.0	III.Oc.R
	12	41.6	III.Ec.D		2	13.8	II.Ec.R	25	0	39.6	III.Ec.D
	15	5.8	III.Ec.R		4	0.3	III.Tr.E		3	0.9	III.Ec.R
4	1	40.6	I.Oc.D		6	29.8	III.Sh.I		7	31.0	I.Oc.D
	5	9.8	I.Ec.R		8	50.6	III.Sh.E		10	55.3	I.Ec.R
	22	55.5	I.Tr.I		16	34.9	I.Oc.D	26	4	44.0	I.Tr.I
	23	55.9	II.Tr.I		20	2.6	I.Ec.R		5	54.4	I.Sh.I
5	0	10.5	I.Sh.I	15	13	48.9	I.Tr.I		6	55.3	I.Tr.E
	1	6.5	I.Tr.E		15	2.4	I.Sh.I		7	58.1	II.Tr.I
	2	20.1	I.Sh.E		15	55.1	II.Tr.I		8	4.1	I.Sh.E
	2	32.0	II.Sh.I		16	0.0	I.Tr.E		10	24.1	II.Sh.I
	2	38.3	II.Tr.E		17	12.0	I.Sh.E		10	40.7	II.Tr.E
	5	10.4	II.Sh.E		18	28.0	II.Sh.I		13	1.9	II.Sh.E
	20	9.6	I.Oc.D		18	37.6	II.Tr.E	27	2	0.6	I.Oc.D
	23	38.7	I.Ec.R		21	6.1	II.Sh.E		5	24.2	I.Ec.R
6	17	24.2	I.Tr.I	16	11	4.2	I.Oc.D		23	13.3	I.Tr.I
	18	30.1	II.Oc.D		14	31.5	I.Ec.R	28	0	23.0	I.Sh.I
	18	39.1	I.Sh.I	17	8	17.9	I.Tr.I		1	24.7	I.Tr.E
	19	35.3	I.Tr.E		9	31.0	I.Sh.I		2	24.6	II.Oc.D
	20	48.8	I.Sh.E		10	25.2	II.Oc.D		2	32.7	I.Sh.E
	21	14.4	III.Tr.I		10	29.1	I.Tr.E		7	22.9	II.Ec.R
	23	39.4	II.Ec.R		11	40.7	I.Sh.E		9	34.4	III.Tr.I
	23	56.9	III.Tr.E		15	29.8	III.Oc.D		12	17.1	III.Tr.E

Dans cet exemple de tableau, les horaires qui précèdent sont donnés à titre indicatif et ne peuvent en aucun cas se substituer aux horaires donnés par l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides² (IMCCE).

² Ephémérides de l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE). Il a remplacé le Service des calculs et de mécanique céleste du Bureau des longitudes de Paris.

ANNEXE V

EPHÉMÉRIDE DE LA GRANDE TACHE ROUGE DE JUPITER

MAI				JUIN				JUILLET				AOUT			
1	07:18	17:13		1	07:53	17:49		1	02:47	12:43	22:39	1	03:33	13:28	23:24
2	03:09	13:05	23:00	2	03:45	13:40	23:36	2	08:35	18:30		2	09:20	19:16	
3	08:56	18:52		3	09:32	19:28		3	04:26	14:22		3	05:12	15:07	
4	04:47	14:43		4	05:23	15:19		4	00:18	10:14	20:09	4	01:03	10:59	20:55
5	00:38	10:34	20:30	5	01:15	11:11	21:06	5	06:05	16:01		5	06:51	16:47	
6	06:25	16:21		6	07:02	16:58		6	01:57	11:52	21:48	6	02:43	12:38	22:34
7	02:17	12:12	22:08	7	02:53	12:49	22:45	7	07:44	17:40		7	08:30	18:26	
8	08:04	17:59		8	08:41	18:36		8	03:36	13:31	23:27	8	04:22	14:17	
9	03:55	13:51	23:46	9	04:32	14:28		9	09:23	19:19		9	00:13	10:09	20:05
10	09:42	19:38		10	00:24	10:19	20:15	10	05:15	15:10		10	06:01	15:57	
11	05:33	15:29		11	06:11	16:07		11	01:06	11:02	20:58	11	01:53	11:48	21:44
12	01:25	11:20	21:16	12	02:02	11:58	21:54	12	06:54	16:49		12	07:40	17:36	
13	07:12	17:07		13	07:50	17:45		13	02:45	12:41	22:37	13	03:32	13:27	23:23
14	03:03	12:59	22:54	14	03:41	13:37	23:32	14	08:33	18:28		14	09:19	19:15	
15	08:50	18:46		15	09:28	19:24		15	04:24	14:20		15	05:11	15:06	
16	04:41	14:37		16	05:20	15:15		16	00:16	10:12	20:07	16	01:03	10:58	20:54
17	00:33	10:28	20:24	17	01:11	11:07	21:03	17	06:03	15:59		17	06:50	16:46	
18	06:20	16:15		18	06:59	16:54		18	01:55	11:51	21:46	18	02:42	12:37	22:33
19	02:11	12:07	22:02	19	02:50	12:46	22:41	19	07:42	17:38		19	08:29	18:25	
20	07:58	17:54		20	08:37	18:33		20	03:34	13:30	23:25	20	04:21	14:17	
21	03:49	13:45	23:41	21	04:29	14:25		21	09:21	19:17		21	00:13	10:08	20:04
22	09:36	19:32		22	00:20	10:16	20:12	22	05:13	15:09		22	06:00	15:56	
23	05:28	15:24		23	06:08	16:03		23	01:05	11:00	20:56	23	01:52	11:47	21:43
24	01:19	11:15	21:11	24	01:59	11:55	21:51	24	06:52	16:48		24	07:39	17:35	
25	07:06	17:02		25	07:46	17:42		25	02:44	12:39	22:35	25	03:31	13:27	23:22
26	02:58	12:53	22:49	26	03:38	13:34	23:29	26	08:31	18:27		26	09:18	19:14	
27	08:45	18:41		27	09:25	19:21		27	04:23	14:18		27	05:10	15:06	
28	04:36	14:32		28	05:17	15:13		28	00:15	10:10	20:06	28	01:02	10:58	20:53
29	00:28	10:23	20:19	29	01:08	11:04	21:00	29	06:02	15:58		29	06:49	16:45	
30	06:15	16:10		30	06:56	16:51		30	01:54	11:49	21:45	30	02:41	12:37	22:32
31	02:06	12:02	21:58					31	07:41	17:37		31	08:28	18:24	

Dans cet exemple de tableau, les horaires qui précèdent sont donnés à titre indicatif et ne peuvent en aucun cas se substituer aux horaires donnés par l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE).

" LA PHYSIQUE EST UNE DAME SI IMPERTINENTE ET CHICANIERE QU'IL VAUDRAIT AUTANT S'ENGAGER DANS DES PROCES QUE D'AVOIR AFFAIRE A ELLE. JE L'AI CONSTATE AUTREFOIS, ET MAINTENANT JE NE ME SUIS PAS AUSSITOT APPROCHE D'ELLE QUE J'EN REÇOIS UN NOUVEL AVERTISSEMENT. "

ISAAC NEWTON

MECANIQUE CELESTE

KÉPLER, RÖMER ET NEWTON – UNE FASCINATION

D. DUCRET ET F. NICOLIER

Cette étude est fractionnée en six parties qui permettront au lecteur de parvenir progressivement à saisir les secrets d'un télescope compact Schmidt-Cassegrain, les mystères de la photographie numérique à l'aide d'une webcam, sans oublier quelques formules mathématiques attachées à la mécanique céleste.

La première partie de l'étude aborde la vie de grands théoriciens du XVII^{ème} siècle, la compréhension de quelques lois liées à la mécanique céleste formulées par Képler et Newton, la première cotation de la vitesse de propagation de la lumière par Römer.

La deuxième partie est consacrée à la mesure du temps au XVII^{ème} siècle.

La troisième partie est réservée au télescope compact Schmidt-Cassegrain. Elle développe la réalisation d'un disque d'Hartmann, tout en expliquant son utilité en astronomie et en astrophotographie.

La quatrième partie est dédiée à l'imagerie numérique avec une petite webcam. Elle décrit l'objet, son emploi, l'acquisition et le traitement d'images.

La cinquième partie invite à comprendre les planètes du système solaire. Elle expose quelques paramètres physiques des géantes gazeuses et autres satellites galiléens. Elle traite de diverses expressions propres à l'astronomie planétaire.

Finalement, la sixième partie lève le voile sur quelques formules mathématiques et, sur l'ensemble des calculs développés par les auteurs pour déterminer la distance entre deux positions dans l'espace, le diamètre et la masse d'une planète, la vitesse de propagation de la lumière.

En fin d'étude, de captivants auteurs et autres revues scientifiques spécialisées sont référencés ainsi que des liens Internet réputés.