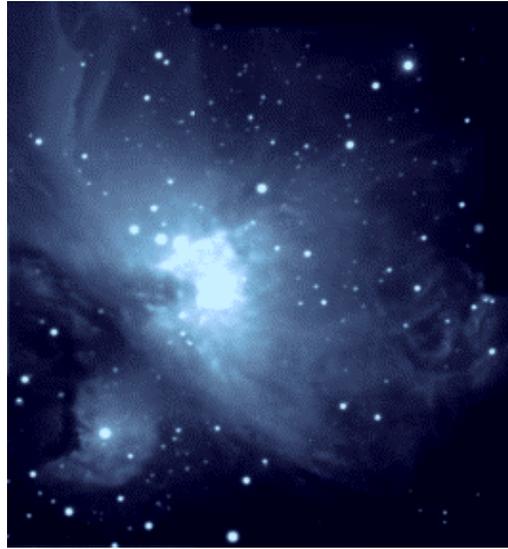


**SOCIETE LORRAINE D'ASTRONOMIE.**

# **L'ECHO D'ORION**



Mosaïque de 6 images CCD réalisées à l'Observatoire le 02/02/98

**2001 - 4<sup>ème</sup> Trim**

**N° 120**

## **SOMMAIRE**

**LE MOT DU PRESIDENT**

**VISITE EN UKRAINE**

**LES MOUVEMENTS DE LA TERRE (2EME PARTIE)**

**HAUTE RESOLUTION**

**ASTRO CROISES JUNIOR**

## LE MOT DU PRESIDENT

### Anniversaires

Au moment où vous recevrez ce numéro de l'Echo d'Orion, la décision de quitter St Jo aura été confirmée par écrit et signée, avec de très bons souvenirs et beaucoup de regrets.

Trente cinq ans depuis la création de la S.L.A.; cela aurait put être pour nous une fête mais il faut déménager; la vie de l'association ici est, comme vous le savez, difficilement gérable.

Notre vocation est de faire des observations astronomiques pour notre plaisir et de partager, dans la mesure des possibilités de chacun, les connaissances que nous avons acquises au fil des ans.

L'Echo d'Orion n°120 sera le dernier portant l'adresse du 413 av de Boufflers, mais il paraîtra de nouveau soyez en sûr. Il y aura toujours des lecteurs attentifs intéressés par les différents articles de ce journal qui doit rester le lien fort de tous les adhérents.

Notre rôle consiste aussi à rappeler à tous les intéressés ce qui fait que l'astronomie est une science à la portée de tous, comment elle en est arrivé là, et grâce à qui.

Au début de cette année nous avons fêté un astronome célèbre, Charles Messier, grâce à qui nos observations de nuits sont plus faciles à programmer.

Aujourd'hui, fin 2001, il y a un anniversaire de taille à ne pas oublier, car trop longtemps ignoré. Tous les astronomes amateurs devraient fêter cet homme qui en cachette fit de longues observations avec une rigueur scientifique exemplaire, digne des plus grands hommes de ces siècles passés : Tycho BRAHE ( 1546-1601).

Autodidacte, dès l'age de 17ans, il put convaincre d'erreurs les tables astronomiques les plus répandues à l'époque, et c'est grâce à cette force de travail qu'il construisit le premier Observatoire d'Europe. Depuis ce jour, les fenêtres de l'univers se sont élargies pour les néophytes que nous sommes.

Ne pas se décourager, garder confiance, prendre du recul sur l'histoire.

Notre très cher Ami Frère Basile nous a quitté voilà juste trois ans. Il serait fier de voir le travail accompli par son association

A bientôt sous de nouveaux horizons, espérant trouver mieux en attendant l'idéal.

Michel Mathieu

# Welcome to YkpaïHa\* !

## Ou

### Ma visite au Andrushivka Observatory.

A la chute de l'URSS, fin 1991, la science perdit de son éclat passé aux yeux des politiques qui avaient mieux à faire que de s'occuper à financer de vastes projets scientifiques. L'astronomie, vaste science par excellence, pâtit de ces considérations politiques plus que douteuse. Les salaires ne purent plus être payés, les coûts d'entretien furent gelés et l'astronomie ne fut plus enseignée dans les écoles et lycées.

Paradoxalement, là où certains voient le triomphe de la liberté, la chute du communisme sonnait le glas de la science et plus particulièrement celui de l'astro car science non-rentable pour un bon bout de temps...

C'est triste me direz-vous. C'est vrai mais c'était sans compter sur l'acharnement de quelques personnes et en particulier sur celui de Youri Nicholayevitch Ivashehenko, ex-astronome au Main Astronomical Observatory, Academy of Sciences of Ukraine.

Rapide histoire de sa vie palpitante : Il est né le 12 avril 1961 à Andrushivka. Vers l'âge de 10 ans, sa mère, qui est prof de physique, lui explique brièvement le ciel étoilé. Il reste sur sa faim et décide de devenir astronome. C'est chose faite en 1983 en entrant au M.A.O. En 1992, les conditions lamentables de travail le pousse à arrêter. Il est engagé chez Nissan comme gérant de station service et devient rapidement sous-président de Nissan Ukraine. Il consacre tous ses temps libres à participer à des conférences astronomiques internationales et il devient traducteur anglais-ukrainien de revues scientifiques.

En 1998, lors d'une conférence à Venise et face au mépris quasi général de la communauté scientifique envers l'astronomie ukrainienne, il prend la simple décision, de bâtir le premier observatoire privé de toute l'histoire des pays de l'Est.

15 juillet 2001 ; la coupole de 8m nargue la petite campagne de Andrushivka, à plus de 150 km au sud-ouest de Kiev.



***Observatoire de Andrushivka***

Après 2h30 de route plutôt cahoteuse, nous sommes accueillis chaleureusement par le paternel de la famille qui garde les lieux nuit et jour. Après de brèves présentations, il nous fait visiter l'endroit.

L'observatoire est entouré d'un très vaste jardin qui possédera bientôt, pour le confort des astronomes, un cours de tennis et une piscine, pas olympique, mais presque.

Le sous-sol est un garage situé à proximité d'un atelier et d'une salle de conférence minuscule : à peine 100 personnes peuvent y siéger.

Le premier étage est réservé à la famille du gardien mais j'entrevois tout de même une cuisine (ouf) toute équipée.

Le second étage est destiné aux astronomes : chambre à coucher, future médiathèque, salle de bain avec EAU CHAUDE et salle informatique, au papier peint représentant des étoiles fluorescentes, possédant bientôt l'ADSL ...des pays de l'Est.

Et le dernier étage : le toit, pas très intéressant en soi et la coupole.

Le Cassegrain Spiegeltelsean 600/2400/7500 est fièrement dressé vers on ne sait où car la coupole est fermée. A ses pieds, un homme en pantalon troué et chemise bleue ample, ramasse des plaques photographiques qui ne sont plus fabriquées depuis des années.

Un technicien, me dis-je naïvement.

Non. Il s'appelle Vitali Andruk, astronome à l'observatoire principal de Kiev, membre de Harvard et photométriste de spécialisation.

Il est vraiment sympa puisqu'il comprend rapidement qu'il doit me parler en anglais pour que je puisse comprendre les réponses aux questions que j'ose lui poser par l'intermédiaire de mon anglais et de mon talent inné de mime.

Enfin, arrive « The heros », qui nous refait visiter l'endroit, et qui répond très sympathiquement aux multiples questions que j'avais préparées en exclusivité mondiale pour L'Echo d'Orion.

Il m'apprend que le télescope, offert par l'Etat, se trouvait depuis une vingtaine d'années dans les montagnes du Caucase au pic Terksol. Il moisissait depuis une dizaine d'années dans une coupole où un 2000 avait été installé. Après, des centaines de coups de fils, de nombreuses réunions et quelques séances vaudou, l'Etat accepta de lui céder gratuitement, ce télescope inutile. Au vu des prix d'entretien on comprend aisément cette décision généreuse.

D'ici 2002, il me dit que l'observatoire possédera des caméras CCD et qu'actuellement le télescope est en rodage. Vitali, discret pendant tout ce temps, confirme les problèmes : toutes les photos de la comète C\2001 A2 Linear qu'il a prises hier soir ont été ratées.

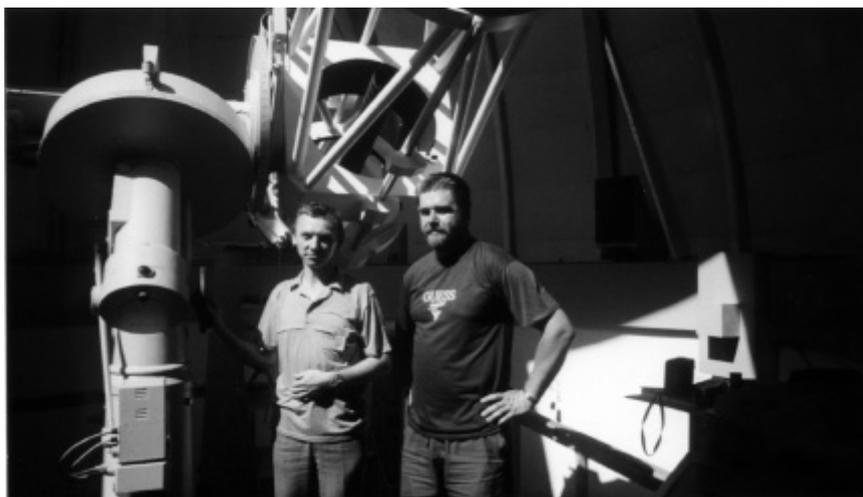
Il réessayera ce soir.

Youri insiste sur le fait que l'observatoire a été ouvert le 12 avril 2001 et que déjà plusieurs observations publiques et gratuites ont été réalisées. Un succès me dit-il.

Une question me taraude soudain l'esprit. Comment faire pour utiliser l'observatoire en tant qu'astronome ?

Facile me dit-il. Suffit de téléphoner et de demander. En russe ou en anglais.

Les prix des communications m'ayant fait perdre la mémoire je ne peux malheureusement pas me souvenir du numéro mais je vous promets que si certains sont intéressés je ferai tout pour m'en souvenir !



***De gauche à droite : Vitali Andruk et Youri Nicholayevitch Ivashehenko  
Au centre : Cassegrain Spiegeltelsean 600/2400/7500***

Seul point noir à tout ceci. L'invasion, l'omniprésence, la perversité des moustiques soviétiques qui aiment se repaître de la bonne chair occidentale. Youri y remédiera. Il me l'a promis.

Pourtant Youri Nicholayevitch Ivashehenko n'est pas satisfait. Il en veut encore plus, et me questionne sur ce qui ne va pas, ce qui me choque, sur ce qui cloche : je suis pourtant fourbe et cruel mais ne trouve rien à critiquer.

Au lendemain d'une courte nuit d'observation sous un ciel noir mais piquant, nous quittons Andrushivka Astronomical Observatory pour rejoindre tristement Kiev, non sans faire mes adieux, sous un soleil de plomb. La longue ligne droite interminable, et parsemée de vendeurs en tous genres (nourriture, pneus, concombres), nous ramène à la pollution lumineuse et aux nuits au « couleur de télé calé sur un émetteur hors service ».

Votre correspondant spécial à Kiev,  
Clément-Matthieu Lhuillier

\* Bienvenue en Ukraine !

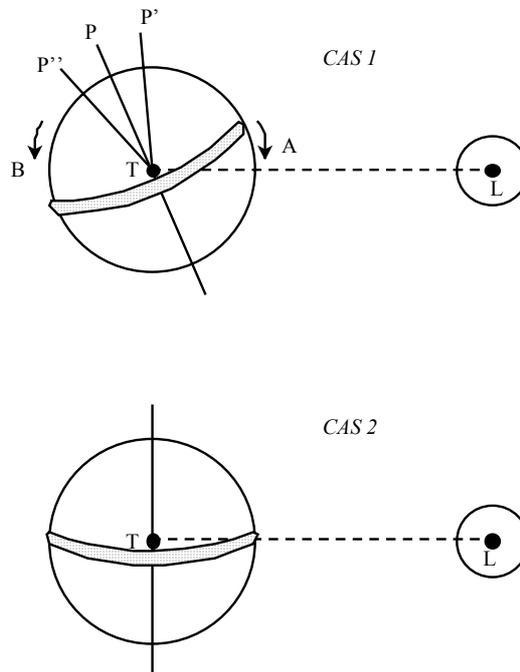
# LES MOUVEMENTS DE LA TERRE

## DEUXIÈME PARTIE

Dans la première partie de notre article, nous avons abordé quelques-uns des mouvements dont notre globe est animé. Continuons cet exposé.

### La nutation

Tout le monde sait que notre globe est renflé à l'équateur. A vrai dire, ce renflement est minime, mais pas négligeable et, pour la commodité de notre démonstration, nous pouvons imaginer qu'il forme une sorte de bourrelet, de ceinture équatoriale, épaisse de 22 kilomètres. La figure 19 montre notre planète ceinte de ce bourrelet, ainsi que la Lune L qui exerce son attraction sur elle.



**Figure 19. Mécanisme de la nutation.** Sur ce croquis, le renflement équatorial a été considérablement exagéré pour expliquer le phénomène.

Si les deux astres se trouvaient continuellement dans la situation du deuxième cas, c'est-à-dire si l'attraction lunaire s'exerçait dans le plan du bourrelet, il n'en résulterait rien du tout; mais cette circonstance ne se présente que deux fois par mois. Le reste du temps, le bourrelet est oblique par rapport à la droite TL. La Lune tire donc le bourrelet un peu de travers, dans le sens de la flèche A par exemple. Comme un immense gyroscope, la Terre réagit alors à angle droit et réplique par une impulsion dirigée dans le sens de la flèche B. Ainsi, la ligne des pôles, au lieu d'être rigoureusement fixe dans la direction TP, dévie-t-elle un peu aujourd'hui en TP', demain en TP'' et ainsi de suite. Elle est animée d'une espèce de petit balancement incessant, et son extrémité, au lieu de viser en permanence l'étoile Polaire, décrit en réalité autour d'elle une imperceptible courbe fermée, une minuscule ellipse longue de 18,42" et large de 14" (figure 20). Ce balancement s'appelle la *nutation* et sa période est de 18 ans et 8 mois environ (durée de la révolution du plan de l'orbite lunaire autour de la Terre). La nutation a été découverte en 1747 par Bradley.

Précisons ici que le plan de l'orbite lunaire est incliné en moyenne de  $5^{\circ} 8' 43''$  par rapport au plan de l'écliptique. Au cours d'une période de 173 jours, cet angle varie entre les deux valeurs extrêmes de  $5^{\circ} 0' 1''$  et  $5^{\circ} 17' 35''$ .

C'est ainsi que l'orbite lunaire coupe l'écliptique en deux points opposés appelés *nœuds*. La ligne qui les réunit étant la *ligne des nœuds*. Mais le plan de l'orbite lunaire ne conserve pas une position fixe dans l'espace. Il est animé d'un mouvement gyroscopique qui a pour effet de changer l'orientation de la ligne des nœuds, laquelle tourne dans le sens inverse du mouvement de révolution de la Lune et fait un tour complet en 18 ans et 224 jours.

Un second phénomène de même ordre, mais bien moins sensible, vient se greffer sur la nutation et y ajouter, pourrait-on dire, une sur-ondulation dont la période est de six mois. Cette complication est imputable au Soleil lorsque, d'une saison à l'autre, chaque hémisphère du globe terrestre se trouve alternativement incliné vers lui.

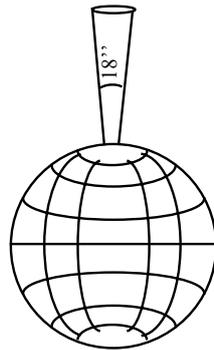


Figure 20. La nutation.

Un autre effet perturbateur analogue, mais presque insignifiant, se produit encore avec une périodicité de 14 jours: il est déterminé par le mouvement de révolution de la Lune qui, s'effectuant obliquement autour de la Terre, lui fait, à l'instar du Soleil, exercer une influence prépondérante sur un hémisphère, puis sur l'autre.

– Et, direz-vous, quelle est l'influence de l'attraction solaire sur le bourrelet équatorial de la Terre?

### La précession des équinoxes

C'est là que les choses se compliquent. Grâce au ciel, pourtant, la force d'attraction de l'astre du jour agit à peu près dans le même plan que celle de l'astre des nuits. Ainsi les deux attractions se combinent-elles pour infliger à l'axe TP une nouvelle sorte de déviation (figure 21).

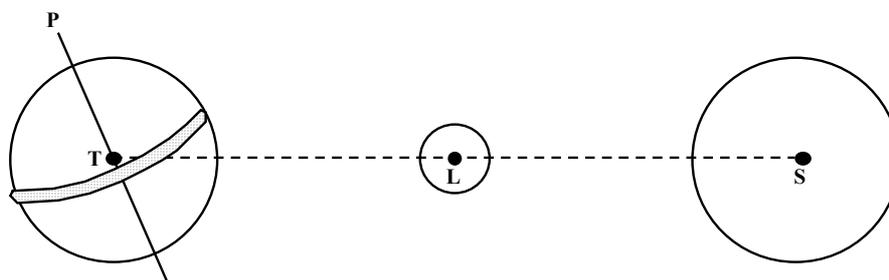


Figure 21. Précession luni-solaire.

Malheureusement ce n'est plus deux fois par mois que le Soleil et la Terre se trouvent dans la situation du deuxième cas du schéma précédent, mais deux fois par an seulement, aux deux équinoxes. Aussi, le balancement que cette attraction luni-solaire imprime à l'axe diffère-t-il grandement de celui qui provient de l'attraction lunaire seule. Il est à la fois beaucoup plus lent et beaucoup plus ample. Beaucoup plus lent: il s'effectue en 25 760 ans; beaucoup plus ample: l'extrémité P décrit une circonférence de près de 47 degrés de diamètre. Mais que devient la nutation dans ce mouvement de pré-

cession? Elle s'y superpose de manière tout à fait simple. Imaginez un promeneur qui, tout en marchant, laisse aller et venir sa canne sur le sol: elle y trace une courbe en zigzag. De la même façon, l'extrémité P de l'axe du globe, soumise aux deux déplacements de la nutation et de la précession, obligée à la fois de décrire une petite ellipse et une grande circonférence, se tire d'affaire en décrivant un cercle ondulé, c'est-à-dire bordé de festons dont chacun représente une période de 18,6 ans (figure 22).

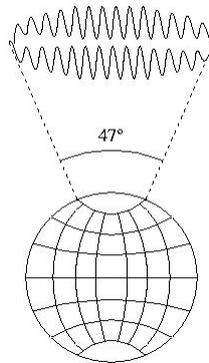


Figure 22. Précession et nutation.

On compare volontiers le mouvement de précession à celui d'une toupie qui, tout en tournant sur le plan où on l'a lancée, se balance de telle façon que l'on voit son axe décrire un cône dont la pointe de la toupie est le sommet. Mais si ce balancement, si ce cône qui semble se tracer sont bien à l'image de ce qui se passe pour l'axe de la Terre, il ne faut pas comparer absolument le globe de celle-ci au corps de la toupie. Toute la différence est que l'ensemble de la toupie se balance à partir du point de pivot qui est à sa base, tandis que, pour la Terre, ce point étant à son centre, de mêmes conditions inverses se répètent en deux directions opposées. Ainsi, pendant que le pôle nord de notre monde décrit son cône dit de *précession*, le pôle sud décrit le sien en sens contraire (figure 23).

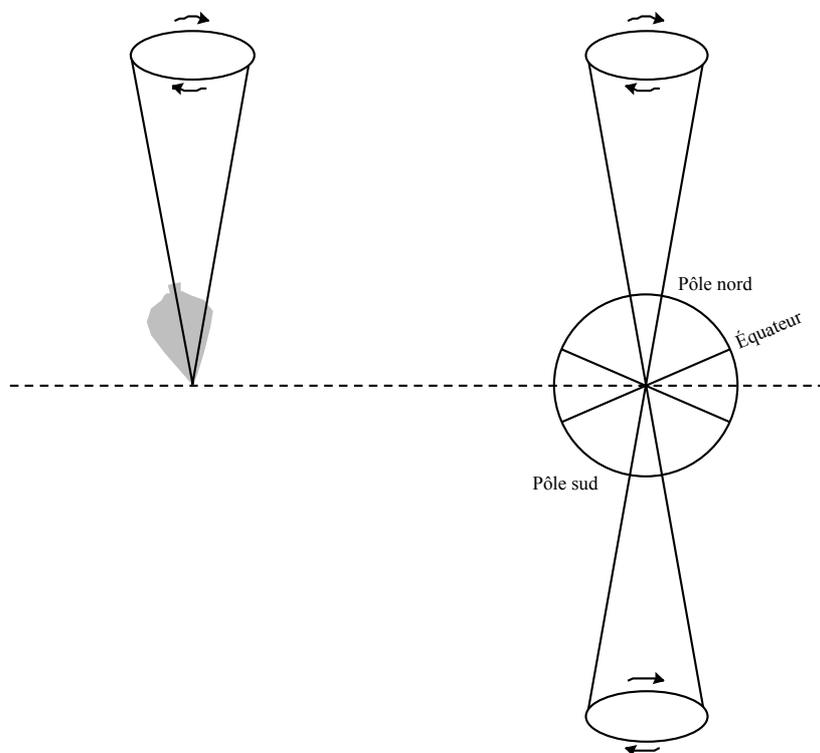


Figure 23. Principe de la précession des équinoxes.

Ce mouvement étant d'une extrême lenteur, comme nous l'avons dit (durée d'ailleurs légère-

ment variable suivant les époques), le pôle céleste semble donc venir occuper successivement tous les points de ces cercles tracés sur le ciel, au nord et au sud. Toutes les étoiles par lesquelles passent ces cercles seront donc "polaires" chacune à son tour.

Qu'une étoile soit qualifiée de polaire n'implique pas nécessairement qu'elle se trouve exactement à un pôle céleste; on entend par là qu'elle occupe une position assez voisine de celui-ci pour qu'au simple examen elle paraisse pratiquement immobile, comparativement aux autres accomplissant leur ronde autour d'elle. Tel est le cas de l'étoile Polaire qui, actuellement, est séparée du pôle vrai de l'hémisphère boréal par une distance angulaire de l'ordre de  $1^\circ$ , soit deux fois le diamètre apparent de la Lune. Le mouvement de précession l'en rapproche petit à petit, mais elle n'occupera jamais cette place exactement: au plus près, elle en sera encore écartée de  $27,5'$  vers l'an 2100.

Dans 120 siècles environ, c'est Véga qui jouera son rôle de Polaire – mais avec quelque laisser-aller, car sa distance au pôle de rotation sera près de dix fois supérieure à celle de la Polaire actuelle.

La figure 24 représente le déplacement du pôle nord céleste en vertu du mouvement de précession des équinoxes:

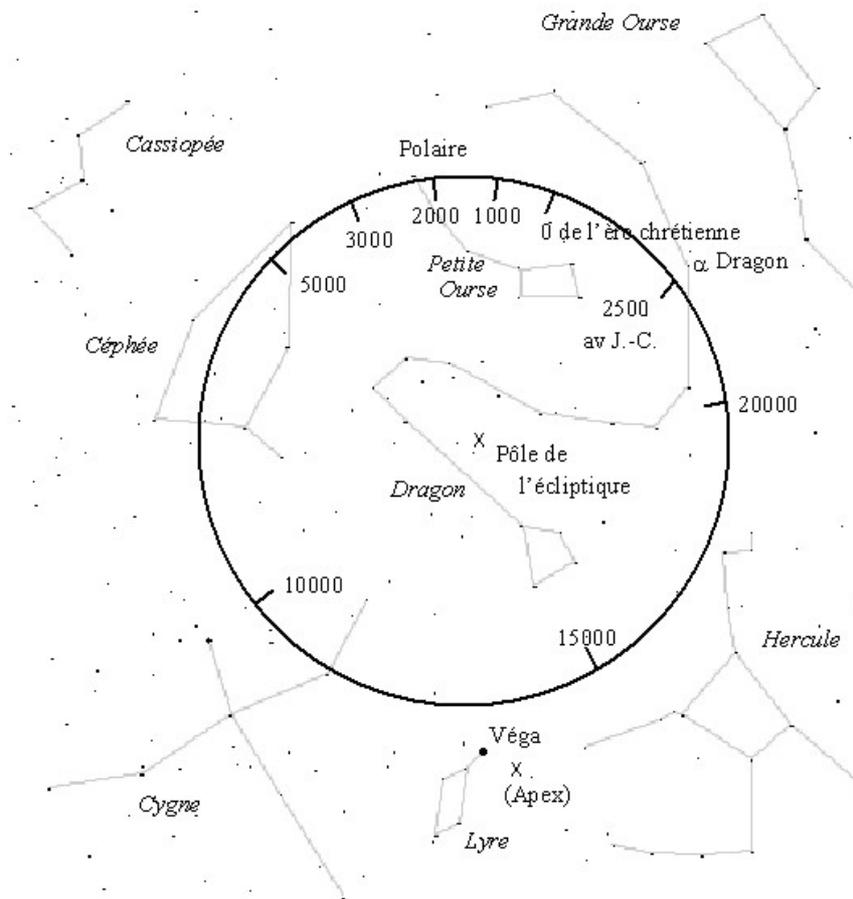


Figure 24. Mouvement du pôle nord céleste. L'apex est la région de l'espace vers laquelle se dirige le Soleil.

Nous avons vu précédemment que l'axe de rotation de la Terre est incliné par rapport à la perpendiculaire au plan de l'orbite. Le plan de l'équateur est incliné de la même valeur sur le plan de l'écliptique. Les deux points opposés qui, sur la sphère céleste, marquent l'intersection de ces plans, sont les *équinoxes* où le Soleil semble passer deux fois par an.

Par suite du mouvement conique de l'axe, le plan équatorial restant toujours perpendiculaire à la direction de celui-ci subit donc un entraînement correspondant, qui fait tourner son orientation par rapport à l'écliptique, et en sens contraire du mouvement de révolution de la Terre. Ainsi, en même

temps que le pôle de rotation accomplit son cercle apparent sur la sphère céleste, les points équinoxiaux (celui de printemps étant choisi pour origine de certaines coordonnées) semblent reculer par rapport aux étoiles: la valeur angulaire de ce recul est de  $50,256''$  par an. C'est pourquoi le mouvement de précession est aussi appelé *précession des équinoxes* (figure 25).

En fait, la valeur de  $50,256''$  par an inclut une autre perturbation très faible de la ligne des équinoxes, qui est de  $0,12''$  par an seulement, dans le sens direct cette fois, et qui est le résultat de l'ensemble des actions planétaires sur la position même du plan de l'écliptique.

En conséquence de ce mouvement, et contrairement aux positions des lieux géographiques, qui sont déterminés une fois pour toutes en longitude et latitude sur le globe terrestre, celles des étoiles se modifient progressivement; autrement dit, les coordonnées fixant leurs positions apparentes sur le ciel ne sont plus exactement les mêmes d'une année à l'autre. Les catalogues d'étoiles donnant les coordonnées de celles-ci précisent pour quelle année elles sont valables. Les positions indiquées ne changent guère sur une période de 50 ans.

Il résulte de ces faits que la portion de sphère céleste susceptible de se découvrir d'un lieu déterminé change au cours des millénaires. Comme animées d'un très lent mouvement de bascule, des constellations invisibles de ce lieu à une certaine époque se montreront peu à peu au-dessus de l'horizon, et d'autres, qui se voyaient dans la direction opposée, disparaîtront au contraire dans la même mesure. Puis la marche en sens inverse reprendra.

Le mouvement de précession fut entrevu pour la première fois vers 150 avant J.-C. par l'un des plus grands astronomes de l'Antiquité, le Grec Hipparque de Nicée. Cet homme, d'une intelligence extraordinaire, ne se trompa que dans l'indication de la cause d'un tel mouvement. Erreur bien pardonnable si l'on songe à la précarité des moyens de recherche de cette époque.

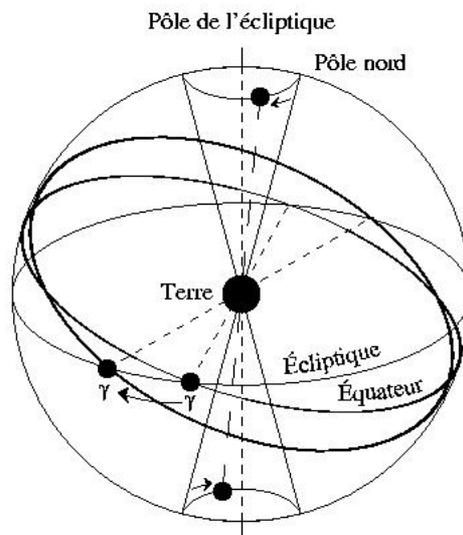


Figure 25. Mouvement de précession de l'axe et de l'équateur terrestres. Rétrogradation du point vernal  $\gamma$ .

## Mouvements secondaires

Le Soleil et la Lune ne sont pas les seuls à avoir une influence sur notre planète. Si nous nous soucions de l'exactitude jusqu'à prendre en considération des écarts angulaires de quelques secondes, nous devons tenir compte des perturbations des planètes.

Vénus, à cause de sa proximité, et Jupiter, à cause de sa masse, ne sont pas sans nous tirer quelque peu. Leur attraction agit obliquement sur notre bourrelet équatorial et c'est, pour le gyroscope Terre, l'origine d'un autre et tout petit mouvement de précession. Cette *précession planétaire* est absolument infime, ce qui s'explique par le fait que la masse de Jupiter n'est tout de même que le  $1/1044$  de celle du Soleil.

Bref, nous sommes obligés de constater que la formule "la Terre décrit une ellipse autour du Soleil" n'est pas de mise quand nous descendons au fond des choses. Non seulement notre globe est soumis à une multitude d'attractions qui s'ajoutent ou se combattent, mais son orbite elle-même se déforme et se déplace. Voici, d'après l'astronome américain H.-N. Russell, la trajectoire décrite en 200 000 ans par le centre de l'orbite terrestre (figure 26). Le point A est la position actuelle de ce centre; le point B est le Soleil. L'orbite n'est pas représentée. A la même échelle, ce serait une circonférence d'un mètre de diamètre centrée sur A. En 200 000 ans, le centre A parcourt la courbe de C à D, les graduations représentant des périodes de 10 000 ans.

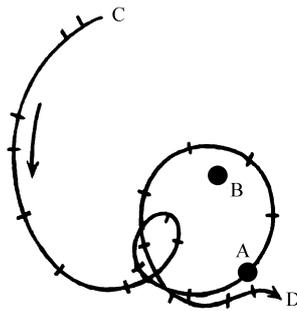


Figure 26. Trajectoire du centre de l'orbite terrestre.

Un autre mouvement important provient du fait que le Soleil, comme ses semblables, est lancé à travers l'espace, entraînant avec lui son cortège de planètes. Ce mouvement d'entraînement résulte de deux composantes d'importances inégales. La première est déterminée par le mouvement général de rotation de la Galaxie, qui entraîne le Soleil et les étoiles voisines à une vitesse de 270 km par seconde. Là où se trouve le Soleil dans la Galaxie, 200 millions d'années lui sont nécessaires pour en faire le tour. La seconde est plus modeste, puisqu'elle ne s'élève qu'à 20 km par seconde environ: elle est due au mouvement particulier du Soleil par rapport aux étoiles voisines. Ce second mouvement s'effectue suivant une direction oblique par rapport au plan général du système solaire. Puisque, pendant que la Terre tourne autour du Soleil, celui-ci se déplace en même temps, il résulte de cette combinaison une trajectoire en hélice par rapport aux étoiles voisines supposées fixes. La course réelle de notre globe est donc comparable à une gigantesque hélice d'une largeur de 299 millions de km et d'un "pas" de 625 millions de km, soit la longueur de la route annuelle autour du Soleil. Ce mouvement de la Terre s'appelle la *translation*.

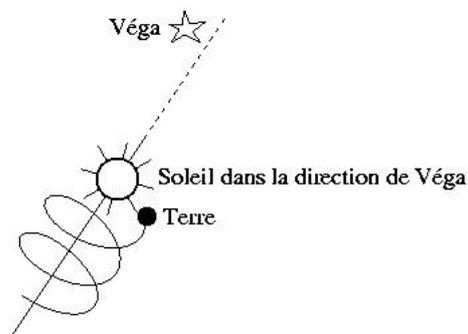


Figure 27. Trajectoire de la Terre (translation).

Par rapport aux étoiles voisines réparties dans l'espace, le Soleil se précipite vers l'endroit du ciel où nous apercevons la constellation de la Lyre avec l'étincelante Véga. Ce point s'appelle *apex*. Mais ce n'est pas là un but, un point d'arrivée comparable à celui d'une course sportive. Jamais ce-

pendant le Soleil n'atteindra la constellation vers laquelle il se dirige, puisqu'une constellation n'existe pas. Nous savons qu'une constellation n'est qu'une apparence fictive née de la vision d'étoiles disséminées en profondeur dans l'espace. Atteindra-t-il alors l'une des étoiles de celle-ci? Considérons les faits suivants: pendant que le Soleil précipite sa course, ses semblables font comme lui dans d'autres directions. Il peut donc seulement survenir qu'il arrive là où l'étoile vers laquelle il se dirige se trouve actuellement, et où elle ne sera plus par suite de son mouvement propre. Cela ne peut s'appeler "arriver au but" car le Soleil serait toujours aussi isolé dans l'espace que maintenant!

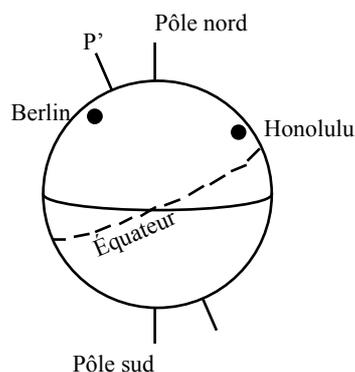
\*  
\* \*

Abordons à présent un mouvement de peu d'ampleur, mais bien réel, concernant le déplacement des pôles de notre planète.

Nous savons que la position de n'importe quel point à la surface de la Terre est déterminée par sa latitude et sa longitude. Celles-ci sont fixées par rapport à l'équateur et le méridien de Greenwich. Mais équateur et méridien sont-ils absolument fixes?

Les astronomes de Berlin, de Potsdam et de Prague s'étaient aperçus, entre 1888 et 1890, que leurs observatoires bougeaient. Naturellement, ils ne les sentaient pas se déplacer sous leurs pieds, mais, ayant calculé leur latitude avec la plus haute précision, ils furent très surpris de constater, à deux ans d'intervalle, que cette latitude avait changé. Elle avait augmenté, comme si les trois observatoires s'étaient éloignés de l'équateur et rapprochés du pôle nord. L'écart était minime: 20 mètres, et la première idée fut de l'attribuer à une erreur. Mais par quel miracle cette erreur eût-elle été la même dans les trois observatoires?

– Il n'y a pas de doute, déclara en 1890 l'Association géodésique internationale, si les latitudes varient, c'est que le pôle bouge. Faisons une enquête: envoyons des astronomes à Honolulu pour calculer la latitude de là-bas et comparons-la à celle de Berlin. Berlin et Honolulu sont situés sur deux méridiens opposés. Si le pôle nord se déplaçait, s'il descendait par exemple en P' (figure 28), la latitude de Berlin augmenterait et celle d'Honolulu diminuerait. C'est bien ce qui fut observé.



**Figure 28. Latitude de Berlin et Honolulu.**

Alors, voyant que la situation était singulière, l'Association géodésique résolut de créer six postes d'observation répartis à la même latitude tout autour du globe. Sur le même parallèle de 39° 8', elle échelonna, en 1899, les stations de Mizusawa, Tschardjoui, Carloforte, Gaithersburg, Cincinatti et Ukiah. Les latitudes obtenues furent centralisées et discutées par le géodésien Albrecht qui annonça en 1903: "Oui, le pôle bouge. Il décrit une petite spirale qui le ramène au même méridien tous les 435 jours. L'amplitude du mouvement ne dépasse pas une quinzaine de mètres."

Les astronomes furent excessivement intrigués par cette découverte. En effet, cette "variation des latitudes" montrait que le pôle changeait continuellement de place, mais le fait qu'il demeurait en même temps en face de l'étoile Polaire prouvait aussi qu'il ne bougeait pas! Comment concilier ces

deux évidences contradictoires?

La solution était facile: ce n'était pas l'axe terrestre qui se déplaçait dans l'espace, c'était la Terre. Imaginez une boule de bois enfilée sur un axe de fer bien fixe. La boule ballote légèrement autour de lui. La contradiction apparente entre la variation des latitudes et la permanence de la position du pôle céleste s'expliquait de la même façon: l'axe mathématique du globe était fixe dans l'espace, c'était le globe lui-même qui oscillait autour de lui (figure 29). Restait à déchiffrer la cause de ce singulier balancement.

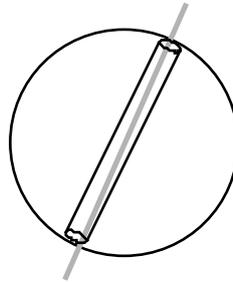


Figure 29. Oscillation autour de l'axe de rotation.

C'est l'Américain Chandler qui en vint à bout. Il prouva que le déplacement du pôle se composait de deux mouvements indépendants superposés. L'un, d'une durée de 12 mois, était dû aux changements d'équilibre que faisaient subir à la Terre la formation et la fonte alternatives des neiges et des glaces. A telle époque de l'année, en effet, notre planète est plus chargée au pôle nord qu'au pôle sud, et inversement à telle autre époque. L'amplitude maximale de ce mouvement est de 5 mètres. L'autre mouvement, d'une durée de 14 mois, devait provenir d'une certaine élasticité de la Terre. Il est clair qu'un corps élastique et souple ne tourne pas aussi régulièrement sur lui-même qu'un corps rigide car, lorsqu'il tourne assez rapidement, il se déforme. Ce second mouvement, appelé "oscillation de Chandler" a une amplitude maximale de 10 mètres.

Le grand mathématicien suisse Euler avait démontré, longtemps auparavant, que, si la Terre était considérée comme un corps entièrement rigide, son pôle devait se déplacer en 305 jours. Or, l'expérience montrait qu'il se déplaçait en 435 jours. Il fallait donc en déduire que la rigidité du globe n'était qu'approximative.

La figure 30 montre le déplacement du pôle nord géographique de 1947 à 1954 dans un carré de 30 m de côté.

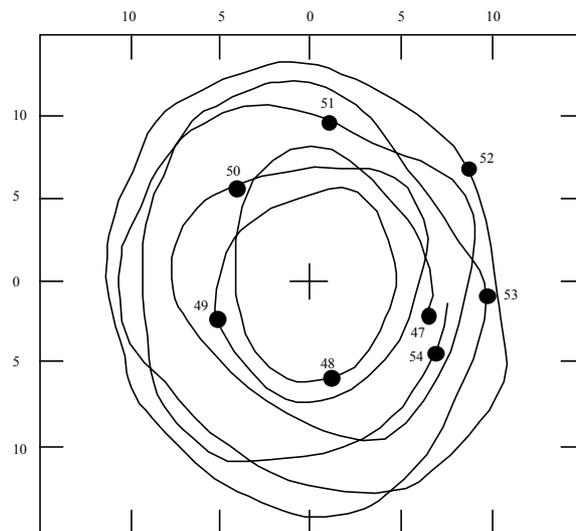


Figure 30. Distance à la position moyenne du pôle (en m).

Voilà un exposé des principaux mouvements dont notre globe est le siège. Ajoutons, pour terminer, le déplacement du centre de gravité du système solaire ainsi que le mouvement mensuel de la Terre autour du centre de gravité du système Terre-Soleil.

N'y a-t-il pas là un beau sujet de méditation?

Enfin, voici un tableau récapitulatif de ce qui a été expliqué dans l'ensemble de notre sujet. Les principaux mouvements apparaissent en **gras** et les mouvements secondaires en *italique*. Les conséquences de certains mouvements figurent en caractères plus petits.

Désignation	Durée ou amplitude
<b>Rotation sidérale</b>	<b>23 h 56 min 4,09 s</b>
Jour solaire moyen	24 h
<b>Révolution</b> { sidérale <b>tropique</b> anomalistique	{ 365 j 6 h 9 min 9,5 s <b>365 j 5 h 48 min 45,2 s</b> 365 j 6 h 13 min 53 s
<b>Variation de l'excentricité de l'orbite</b>	<b>de 0,047 à 0,003</b> en 92 000 ans actuellement: 0,016
Distance Terre-Soleil	excentricité 0,047: de 143 000 000 km à 157 000 000 km excentricité 0,003: de 149 500 000 km à 150 500 000 km actuellement: de 147 000 000 km à 152 000 000 km
Vitesse sur l'orbite	de 29,27 km/s (aphélie) à 30,27 km/s (périhélie)
<b>Déplacement du grand axe de l'ellipse par rapport au point vernal</b>	<b>61,89" par an</b> , soit un tour complet en 21 000 ans
<b>Variation de l'inclinaison de l'axe de rotation</b>	<b>de 21° 59' à 24° 36'</b> en 40 000 ans (entre deux minima) actuellement: 23° 26'
Durées actuelles des saisons (hémisphère nord)	printemps: 92 j 18 h été: 93 j 16 h automne: 89 j 20 h hiver: 89 j
<b>Nutation</b>	<b>léger balancement de l'axe de rotation en 18,6 ans</b> formant une ellipse de 18,42" sur 14"
<b>Précession des équinoxes</b>	<b>déplacement annuel du point vernal de 50,2"</b> en sens rétrograde, soit un tour en 25 760 ans
<b>Translation</b>	<b>mouvement "en pas de vis" pour suivre le Soleil</b> qui se déplace à 20 km/s vers l'apex
<i>Précession planétaire</i>	<i>perturbations causées par l'attraction des autres planètes</i>
<i>Déplacement du pôle nord géographique</i>	<i>combinaison de deux mouvements superposés</i>
<i>Déplacement du centre de gravité du système solaire</i>	
<i>Mouvement mensuel de la Terre autour du centre de gravité du système Terre-Soleil</i>	

*Pierre Haydont*

Sources: Astronomie Larousse.

Tout l'Univers.

Pierre Rousseau: La Terre, ma Patrie.

# COMBINAISONS OPTIQUES

## et QUALITE des IMAGES en ASTRONOMIE

Ou pourquoi une photographie (argentique ou CCD) doit être **pensée en fonction de l'instrument** dont on dispose ...

Si l'on place l'appareil photo ou la CCD **au foyer du Newton de 260**, la  **finesse des détails** obtenue est  **quatre fois moindre** que ce que l'on pourrait obtenir avec une combinaison optique optimale pour cet instrument.

Avec la  **lunette de 130**, cette fois-ci la position au foyer n'est pas si loin de la situation optimale (1,5 fois moins seulement). Cependant,  **comparée au Télescope de 260**, la finesse des détails reste  **trois fois moins bonne**.

Voici quelques éléments qui permettront de comprendre pourquoi il faut une combinaison optique spécifique à chaque instrument et comment la calculer.

### Le DIAMETRE de l'Instrument

Plus le diamètre d'un instrument (télescope ou lunette) est important, meilleure est la *résolution\** obtenue (*pouvoir séparateur\** plus petit).

Ceci confirme le fait qu'**il vaut mieux utiliser le Newton de 260mm que la Lunette de 130mm**.

### La notion d'ECHANTILLONNAGE

Qu'il s'agisse d'un film argentique (pellicule photo) ou d'un capteur CCD, une image est formée d'un ensemble d'unités ou points (la granulosité du film argentique ou le pixel du capteur CCD).

L'échantillonnage, c'est la portion de ciel (valeur angulaire mesurée en secondes d'arc) qui arrive sur une unité du "plan image" (granulosité du film argentique ou pixel du capteur CCD).

L'échantillonnage dépend de deux paramètres :

- la  **focale de l'instrument** (correspondant au grandissement de l'image avant son arrivée sur le plan image) - plus elle est grande et plus la portion de ciel arrivant sur une unité est petite;
- la  **taille des pixels** du capteur ou du  **grain** du film (9? pour un capteur CAF400 ou un film TP2415) - plus ils sont grands et plus la portion de ciel arrivant sur une unité est grande.

L'échantillonnage est un **objectif à atteindre**. C'est lui qui va déterminer la combinaison optique à utiliser pour optimiser la finesse des détails observés.

La taille des grains du film ou des pixels du capteur étant déterminée, la seule variable qui peut être modifiée pour atteindre cet objectif est la focale résultante de l'instrumentation (combinaison entre l'instrument et les systèmes grossissants utilisés).

Formule simplifiée de calcul de la focale résultante à utiliser pour aboutir à l'échantillonnage désiré:

$$\text{Focale résultante à utiliser (en mm)} = 206 \times \frac{\text{Taille des grains ou des pixels (en mm)}}{\text{Echantillonnage souhaité (en secondes d'arc)}}$$

### Quel échantillonnage viser ?

Chaque miroir ou lentille permet, en fonction de sa taille et de sa qualité, de distinguer des détails plus ou moins fins (pouvoir séparateur de l'instrument).

Pour pouvoir utiliser le plein potentiel du diamètre de l'instrument, il va falloir se fixer comme objectif d'échantillonner avec une marge de sécurité 2 à 3 fois inférieure au pouvoir séparateur de l'instrument. Cela signifie, pour être plus concret, que **chaque détail renvoyé par l'instrument doit recouvrir deux ou trois grains ou pixels**.

Attention ! Lorsque l'échantillonnage est trop fin (sur-échantillonnage), l'image est empâtée. A l'inverse, un sous-échantillonnage conduit à une perte de résolution.

#### *Exemple pour la photographie lunaire*

Pouvoir séparateur théorique ( $13''/D$  en cm) des instruments de la S.L.A. :

C11 : ~ 0,46'', **Newton de 260 : ~ 0,5''**, Lunette de 130 mm : ~ 1''

On retient le cas du Newton qui apporte la meilleure résolution parmi les instruments en station (diamètre plus important).

Compte tenu des défauts de l'instrument et de l'atmosphère (même avec une turbulence faible), le pouvoir séparateur théorique doit être augmenté en moyenne d'un facteur 1,7 (données statistiques) pour correspondre mieux à la réalité : soit 0,85''

L'échantillonnage souhaité pour obtenir les meilleurs détails sera donc de 0,3'' (~0,85/3).

La **focale résultante nécessaire** à l'obtention de cet échantillonnage avec un film ou un capteur dont les grains ou pixels ont une taille de 9µm est donc :

$$206 \times 0,009 \text{ mm} / 0,3 \text{ seconde} = \mathbf{6,1884 \text{ m.}}$$

### Relation entre focale résultante et focale primaire

Pour obtenir la focale nécessaire à l'obtention de l'échantillonnage, il faudra combiner à l'instrument des systèmes grandissant (oculaires ou barlows).

Cette focale résultante revient à grandir l'image d'un facteur G appelé grandissement où :

$$\mathbf{F \text{ résultante} = \text{Grandissement} \times F \text{ du foyer primaire}}$$

*Exemple pour la photographie lunaire (suite)*

La focale principale du Newton est de 1459 mm.

La focale résultante nécessaire à l'obtention de l'échantillonnage défini plus haut est de 6188mm.

Le **grandissement nécessaire** est donc de **4** (~ 6188/1459)

## Le choix du SYSTEME GRANDISSANT

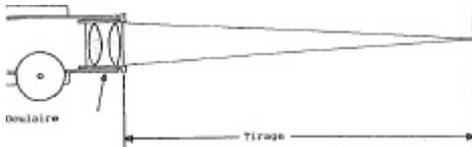
**M**aintenant que nous savons de combien il faut agrandir la focale primaire de l'instrument pour obtenir l'échantillonnage souhaité, il faut savoir quel système grandissant utiliser.

**L**es principaux moyens d'agrandir la focale primaire d'un instrument sont la projection par **oculaire** ou par **Barlow**.

**E**n pratique, l'**oculaire** ne devra être utilisé qu'avec **des grandissements supérieurs à 6x**. Dans le cas contraire, le défaut principal se manifestera par une courbure de champ : il devient impossible alors d'obtenir une mise au point correcte au centre et sur les bords en même temps; ce point est capital sur la Lune où celle-ci couvre tout le champ; il l'est beaucoup moins sur une image de Mars qui occupe uniquement le centre du champ.

**C**ette remarque n'est pas valable lorsqu'on utilise des oculaires dits "de projection" qui ont été spécialement conçus pour cette utilisation.

**E**t pour un grandissement donné, il est **préférable** d'utiliser un **oculaire de focale moyenne** avec un **tirage important** plutôt qu'un oculaire de courte focale associé à un faible tirage.



Le tirage est la distance séparant le système grossissant du capteur ou du film.

**L**es Barlows sont calculées pour fournir le meilleur d'elles-mêmes à un grandissement bien précis (2x ou 3x généralement inscrit sur le tube). Grâce au tirage, on peut porter cette amplification à 3x ou 4x dans le cadre de l'utilisation en imagerie. Mais lorsqu'un **grandissement de 5x et 6x** est nécessaire, il est préférable **d'utiliser deux Barlows**.

**A** partir de ces considérations, le choix du système grandissant se déduit du grandissement attendu.

**V**oici les **formules** permettant de **calculer le tirage** à utiliser en fonction du grandissement dans les cas d'une projection par oculaire ou d'une Barlow.

$$\begin{array}{l} \text{Projection par oculaire} \\ \text{Grandissement} = \frac{\text{Tirage}}{\text{Focale de l'oculaire}} - 1 \end{array} \qquad \begin{array}{l} \text{Barlow} \\ \text{Grandissement} = \frac{\text{Tirage}}{\text{Focale de la Barlow}} + 1 \end{array}$$

Si la focale d'un oculaire est indiquée pour un oculaire, celle d'une Barlow ne l'est pas toujours. Il va falloir la déterminer par l'observation.

*Exemple pour la photographie lunaire (suite)*

Pour obtenir un grandissement de 4, la combinaison optique utilisée doit être de façon préférentielle une projection par Barlow.

Si on choisit d'utiliser **une seule Barlow**, le **tirage** devra être de : Focale de la Barlow\*(4-1) = 113,4\*3 = 340 mm. Peu pratique !

Le plus simple dans ce cas est d'utiliser **deux Barlows x2**. Le grandissement résultant sera alors de 2 x 2 = 4. On atteint le grandissement souhaité **sans aucun tirage supplémentaire**. Il suffit donc de positionner les deux Barlows l'une derrière l'autre, entre le plan focal et le plan image.

### CONSEQUENCES d'une IMAGE non PENSEE

**D**ans le cas de la photographie lunaire au Newton de 260mm, si l'on met le boîtier photographique ou la CCD au foyer du télescope, la finesse des détails observés sera potentiellement 4 fois moindre que si l'on utilise la combinaison optique calculée.

**S**i maintenant, on utilise la Lunette de 130mm au lieu du télescope de 260mm pour avoir une focale primaire plus importante et ainsi diminuer d'autant le grandissement à appliquer, cette fois-ci c'est le pouvoir résolvant de l'instrument qui est diminué de moitié : les plus fins détails, au lieu d'être étalés sur 2 ou 3 grains ou pixels, seront "imprimés" sur 4 à 6 - c'est beaucoup trop - on n'améliore pas la résolution en étalant chaque détail sur une plage plus importante du film.

**L**e raisonnement est le même si, une fois la photographie prise, on réalise un agrandissement numérique ou photographique : l'image est plus grande mais le niveau de détail n'est pas amélioré, il est simplement plus étalé - l'agrandissement a posteriori ne peut pas réinventer le détail perdu !

### REMARQUES

**P**our l'**imagerie planétaire**, une valeur **d'échantillonnage de 0,1" à 1"** est souhaitable.

**A**lors que pour l'**imagerie du ciel profond**, une valeur **d'échantillonnage de 1,5" à 3"** permet d'obtenir une finesse apparente suffisante. En effet, il faut retenir que plus le grandissement est important, plus le temps de pause sera allongé pour obtenir le même signal lumineux. Dans le cas du ciel profond, où très souvent le signal de base est déjà faible, poser plus peut faire risquer des difficultés de suivi et ainsi faire perdre tout le bénéfice, voir aller à l'encontre de l'objectif fixé : augmenter le niveau de détail observable...

**L**a **turbulence** est un facteur important dont il faut tenir compte : l'échantillonnage devra être revu à la baisse (sous-échantillonnage) en fonction de celle-ci. Sans cela, ce sont les défauts dus à l'atmosphère qui seront capturés.

A diamètre à peu près équivalent, on a intérêt à choisir celui qui a la plus grande focale initiale car la **difficulté de mise** au point diminue avec la focale initiale mais croît avec le grandissement appliqué.

### CONCLUSIONS PRATIQUES

Pour les objets du ciel profond comme les nébuleuses diffuses ou les grandes galaxies :

- instrument de plus grand diamètre (pour capter plus de lumière)
- imagerie au foyer suffisante

Pour la Lune, les planètes et les nébuleuses planétaires :

- entre deux instruments de diamètres très différents, choisir celui qui a le plus grand diamètre, sinon, choisir celui qui a la plus grande focale
- utilisation d'un système grandissant (oculaire +/- tirage ou barlow(s) +/- tirage)

A VOS APPAREILS ...

Isabelle.B

## ANNEXES

### Pouvoir séparateur d'un instrument

Le pouvoir séparateur de l'instrument correspond à sa capacité à séparer deux étoiles doubles de même magnitude observables avec l'instrument.

Son calcul théorique est donné par la formule :  $13''/D$  en cm.

En pratique, il faut souvent multiplier le pouvoir théorique par 1,7 (en raison des conditions atmosphériques).

Un pouvoir séparateur de 0,5" signifie qu'on doit pouvoir distinguer des étoiles doubles de même magnitude séparées de 0,5". Pour les planètes et la Lune, le détail obtenu sera fonction du contraste et un détail très contrasté peut descendre en dessous de ces limites : c'est l'exemple typique de la division de Cassini sur Saturne ou des rainures lunaires.

A noter que la turbulence atmosphérique (seeing) devient vite très gênante au-delà d'un certain diamètre. On peut ainsi considérer que le diamètre optimal se situe entre 200 et 300 mm dans nos régions.

Pour ceux qui souhaitent tester le pouvoir séparateur de leur instrument, ils trouveront une liste d'étoiles doubles tests en fonction du diamètre de l'instrument dans le "Guide de l'observateur" (Tome 2 ; p 680-681)

### Résolution

La résolution d'une image est l'inverse du pouvoir de résolution d'un instrument et correspond à la séparation angulaire la plus petite entre deux étoiles doubles de même magnitude observables avec l'instrument.

### Mesure de la focale d'une lentille de Barlow

La focale d'une lentille de Barlow n'est généralement pas notée. Elle doit être déduite de l'image d'un objet connu, comme une planète.

La méthode est la suivante :

1. Prendre une image d'une planète dont le diamètre angulaire P (en secondes d'arc) est connu à partir d'éphémérides
2. Mesurer la taille L de la planète sur le capteur ou le film
3. Calculer la focale résultante de l'instrument avec la formule d'échantillonnage :  $FR = 206 L/P$
4. Prendre une autre image du même objet, mais cette fois sans lentille de Barlow : la même formule fournit la focale primaire FP de l'instrument
5. Calculer le grandissement effectif de la lentille de Barlow :  $G = FR/FP$
6. Mesurer la distance D (en mm) entre la lentille et le plan focal
7. La focale FB de la lentille de Barlow est  $D / (G - 1)$

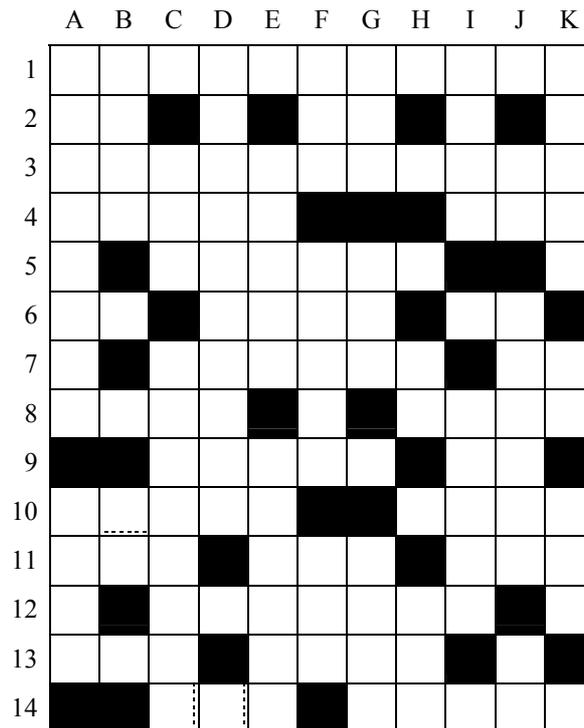
### Lunette ou télescope pour le planétaire ?

Pour les planètes, une lunette fournira en haute résolution des résultats un peu meilleurs qu'un télescope de même ouverture.

Lorsque le diamètre du télescope est nettement plus important que celui de la lunette (deux à trois fois), ses avantages sont :

- 1) Le supplément de diamètre fait plus que compenser les effets de l'obstruction et permet d'obtenir une meilleure résolution et un meilleur contraste. Une lunette, aussi parfaite soit-elle, ne peut pas s'affranchir des lois de la diffraction, ses performances sont limitées par son ouverture.
- 2) Le supplément de diamètre permet de collecter plus de lumière, ce qui est un avantage important (la diminution du temps de pose permet de mieux lutter contre la turbulence).

## ASTRO CROISES JUNIORS



### Définitions.

#### Horizontalement

**1.** Appareil qui montre le ciel. **2.** Laisse le choix. – Un peu de rire. **3.** Pas regardées. **4.** Liquide de même composition que le plasma, mais sans fibrinogène. – Légumineuse dont le type est la lentille. **5.** Descente à skis avec beaucoup de virages. **6.** Fleuve né dans l'Altai. – Patron des orfèvres et des forgerons. – Abréviation musicale. **7.** Empêchent d'observer le ciel. – Possèdes. **8.** Pièces de monnaie. – A sec. **9.** Notre planète. – Phonétiquement : divinité féminine. **10.** Un aspect de la Lune. – Dieu grec de la Guerre. **11.** Exercer une chose selon les règles. – L'eau de mer en contient beaucoup. – Constellation proche du Sagittaire. **12.** Moment très court. **13.** Préfixe signifiant nouveau. – Irritant au goût ou à l'odorat. **14.** Un catalogue de nébuleuses. – Belle étoile du Cygne.

#### Verticalement

**A.** Constellation zodiacale. – Constellation australe. **B.** Satellite de la Terre. – Initiales d'un célèbre diagramme. **C.** Métaux précieux. – Mouvement qui se greffe sur celui de la précession des équinoxes. **D.** Objets célestes lumineux ou sombres, à contours irréguliers. **E.** Ensemble des équipages et de la maison d'un chef arabe. – Retour violent des vagues sur elles-mêmes lorsqu'elles se brisent contre un obstacle. **F.** Boisson. – Habiter. – Et la suite. **G.** Il constitue l'atmosphère. – Oiseau palmipède. – Partie profonde de la peau de certains animaux, chargée de matières grasses. **H.** Abréviation pour saint. – Bien arrivée. **I.** Notion que l'esprit se forme de quelque chose. – Versant d'une vallée exposé au soleil. **J.** Symbole de l'erbium. – Mesure astronomique de 3,26 années-lumière. – Moi. **K.** Quantité de matière d'un corps. – Note de musique. – Opposé au nord.



*Bonne et heureuse  
Année 2002*

