



Les planètes et la Lune

Huit planètes cohabitent avec la Terre dans le Système Solaire. Toutes sont photographiables par un amateur, mais trois d'entre elles se distinguent en offrant des vues détaillées : Mars, Jupiter et Saturne. Sans compter notre satellite, la Lune, dont la photographie présente beaucoup de similitudes avec celle de ces planètes.

*Grande, lumineuse et fourmillant de détails contrastés,
la Lune est une bonne cible pour débuter en astrophotographie.*



Les planètes sont des objets relativement lumineux qu'il est tout à fait possible de photographier depuis un centre-ville ou en présence de la Lune. Mais elles sont de petite dimension angulaire : aucune ne dépasse la minute d'arc. Pour pouvoir enregistrer des détails à la surface des plus majestueuses d'entre elles, l'instrument doit être capable de voir sa focale portée à plusieurs mètres ; plus question d'utiliser l'objectif photographique avec lequel nous photographions les constellations ou de larges nébuleuses : sa focale n'est pas suffisamment grande, son diamètre non plus. Place donc aux instruments astronomiques.

Le terme « haute résolution » est parfois employé pour désigner la photographie des planètes car c'est le domaine de la photographie astronomique où l'on cherche à pousser l'instrumentation dans ses derniers retranchements, le plus près possible de ses capacités ultimes de résolution. Une très bonne photographie planétaire n'est jamais le fruit du hasard : qualité optique, collimation du télescope, échantillonnage adéquat, mise au point soignée, traitement judicieux et... clémence de l'atmosphère sont quelques ingrédients essentiels à l'obtention d'une belle photographie de Mars, Jupiter ou Saturne. Dans ce domaine peut-être plus que dans tout autre, la persévérance et la rigueur sont de règle !

Instruments et résolution

Tous les astronomes amateurs le savent bien, une des caractéristiques fondamentales des instruments astronomiques est leur diamètre optique. C'est d'ailleurs par cette information, et non par la focale, qu'ils les désignent en général : « j'ai une lunette de 60 mm », « j'utilise un télescope de 200 », etc. C'est le diamètre qui détermine naturellement la quantité de lumière collectée, si utile en ciel profond. Mais il détermine aussi la quantité de détails visibles. En effet, si l'image, donnée par un instrument astronomique, d'une source lumineuse ponctuelle telle qu'une étoile était elle-même un point sans dimension mesurable, il suffirait d'agrandir indéfiniment l'image donnée par le premier instrument venu pour détecter toujours plus de détails. Malheureusement, la Nature en a décidé autrement : au foyer de notre instrument, l'image d'une étoile se présente sous la forme d'un petit disque lumineux (ou « faux disque ») concentrant la majeure partie de l'énergie lumineuse, entouré d'anneaux d'intensité rapidement décroissante. Ce phénomène est dû à la diffraction de la lumière et a pour conséquence de rendre plus ou moins flous et dilués les bords d'une planète ou des détails planétaires. Plus ces détails sont fins et peu contrastés, plus il est difficile pour un instrument d'en donner une image nette et distincte ; en dessous d'une certaine limite, leur détection n'est plus possible.

Le diamètre angulaire d du faux disque (en secondes d'arc) est proportionnel à la longueur d'onde λ (en microns) et inversement proportionnel au diamètre optique D de l'instrument (en mm) :

$$d = 500 \frac{\lambda}{D}$$

Par exemple, un instrument de 100 mm de diamètre donne dans le vert (longueur d'onde 0,56 μm) un faux disque de 2,8" de diamètre. La principale conséquence de cette propriété est qu'un instrument est capable – en théorie – de montrer des détails d'autant plus fins et nombreux que son diamètre est grand.



Image de Saturne obtenue en 2003 avec un télescope de 305 mm de diamètre et une webcam. Grâce à des conditions de turbulence excellentes et à un angle d'ouverture maximal des anneaux, elle montre aux extrémités des anses des anneaux la division d'Encke qui est une réplique miniature de la division de Cassini. Sa largeur angulaire n'est que de 0,05" mais sa forme et son contraste favorisent sa détection ; il n'aurait pas été possible de détecter une tache circulaire et peu contrastée aussi petite à la surface de la planète.

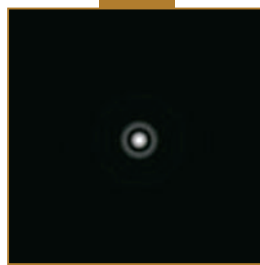
Où sont les limites de résolution ?

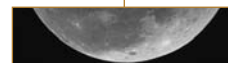
Les publicités et notices d'utilisation des télescopes du commerce mentionnent une information appelée « pouvoir séparateur ». Ce nombre, exprimé en secondes d'arc, se calcule simplement par la formule $120/D$, où D est le diamètre de l'instrument en mm. Par exemple, le pouvoir séparateur d'un télescope de 120 mm de diamètre est de 1".

Ce nombre ne représente pas, comme on le croit souvent, la dimension du plus petit détail détectable dans un instrument donné : si c'était le cas, comment serait-il possible de distinguer la division de Cassini, dont la largeur est de 0,7", dans une lunette de 60 mm dont le pouvoir séparateur n'est pourtant que de 2" ? En réalité, la formule ci-dessus ne s'applique pas à la détection d'un détail isolé mais à la séparation d'une étoile double, ce qui est un problème très différent. Détecter un détail isolé et séparer deux détails sont deux capacités distinctes, de plus elles dépendent non seulement du diamètre de l'instrument mais également de la forme et du contraste des détails considérés. Une image de ciel profond comporte des « détails » (les étoiles) dont la dimension angulaire est inférieure au millième de seconde d'arc, mais ce chiffre n'est en aucun cas une indication de la qualité de l'image en termes de netteté.

Il ne faudrait cependant pas en déduire qu'un instrument est capable de montrer des détails aussi petits que l'on veut et que tout ce qui apparaît dans une image est nécessairement réel. Il ne faut jamais oublier que l'image donnée par un instrument n'est pas la réalité mais une transformation de celle-ci, que la diffraction (et d'autres causes que nous verrons par la suite) rend d'autant moins fidèle que les détails sont fins et peu contrastés. En d'autres termes, un instrument est un filtre qui dégrade l'information, et cela d'autant plus

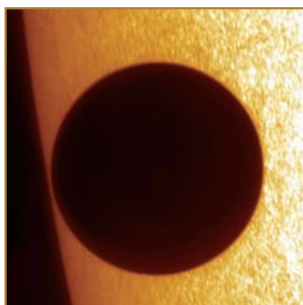
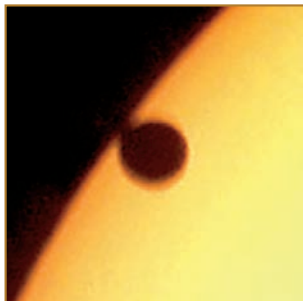
La célèbre figure d'Airy. Pour l'observer distinctement, il faut grossir au moins deux fois le diamètre de l'instrument en mm (par exemple au moins 200 fois pour un instrument de 100 mm). Le nombre d'anneaux visibles dépend, entre autres facteurs, de la magnitude de l'étoile.





que cette information est subtile. L'effet de « goutte noire » observé et photographié lors des transits de Vénus devant le Soleil est une des meilleures illustrations de la prudence dont il faut toujours faire preuve devant une image. Et, lorsqu'un doute surgit, la comparaison avec des images très détaillées, prises avec des instruments professionnels ou des sondes spatiales, n'est jamais inutile !

Aux siècles passés, l'effet de « goutte noire » observé lors des transits de Vénus devant le Soleil a longtemps été sujet à controverse (en haut). Pour certains, il s'agissait d'un phénomène réel dû à l'atmosphère de Vénus. Pour d'autres, c'était une simple conséquence des défauts des instruments, notamment la diffraction et le chromatisme. Nous savons aujourd'hui que ce sont les seconds qui avaient raison : des images très détaillées, prises par de grands télescopes professionnels tels que le télescope solaire suédois de 1 mètre de diamètre installé aux îles Canaries (en bas), ne montrent aucunement cet effet. Photographies Marko Myllyniemi et Institute for Solar Physics (Royal Swedish Academy of Sciences).



Interférométrie optique et amateurs

L'interférométrie optique consiste à faire fusionner les faisceaux lumineux issus de plusieurs télescopes (au moins deux), afin d'améliorer la résolution des images. Simple dans le principe, cette technique est terriblement complexe à mettre en œuvre : il faut que les chemins optiques suivis par les faisceaux restent égaux à moins de 1/10 de micron près, et cela malgré le fait qu'ils varient en permanence à cause de la rotation de la Terre. Les solutions mises en place sur quelques grands télescopes professionnels, aux limites de la technologie actuelle, sont pratiquement hors de portée de l'amateur.

De plus, contrairement à la vision simplificatrice qu'on nous en présente parfois, le couplage de deux télescopes ne donne pas une image ayant la même résolution que celle fournie par un instrument géant dont le diamètre serait égal à la distance les séparant. En réalité, l'image recueillie est identique à celle fournie par un seul des deux télescopes, à ceci près que cette image est striée de très fines franges d'interférences que de puissants ordinateurs doivent digérer afin d'en déduire une information exploitable par les équipes scientifiques.

Notons enfin que l'interférométrie en lumière visible ne peut pas se faire a posteriori par combinaison d'images numériques prises avec plusieurs télescopes. Pour des raisons dont la description dépasse le cadre de cet ouvrage, il faut impérativement que ce soit les faisceaux lumineux issus des télescopes qui soient combinés, et cela avant d'atteindre le capteur.

Les instruments pour la photographie planétaire

L'instrument parfait et universel n'existe pas, ni en théorie ni en pratique. On pourrait consacrer des centaines de pages à décrire dans le détail toutes les propriétés et aberrations caractérisant chaque formule optique tant celles-ci sont nombreuses et variées. Des formules comme celles des télescopes de Newton et de Cassegrain ont été conçues pour donner une excellente qualité d'image sur l'axe optique, c'est-à-dire au centre du champ. Ce qui est tout à fait suffisant en photographie planétaire, compte tenu de la petite dimension angulaire des planètes : ici, nul besoin d'un instrument disposant d'une large couverture de champ comme en ciel profond. Quelques indications (on trouvera des photographies de ces différents types d'instruments au chapitre 7) :

- l'instrument ayant le meilleur rapport performances/diamètre est une lunette apochromatique (voir plus loin) ou un télescope de Cassegrain optimisé pour le planétaire ;
- l'instrument ayant le meilleur rapport performances/prix est le télescope de Newton, en particulier lorsqu'il est de fabrication personnelle ;
- l'instrument ayant le meilleur rapport performances/encombrement est le Schmidt-Cassegrain ou le Maksutov-Cassegrain.

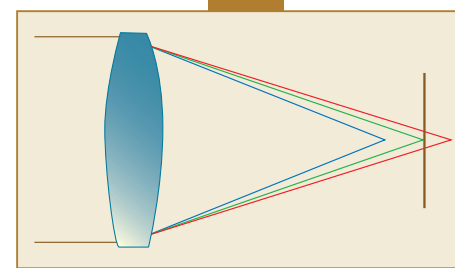
À diamètre fixé, la qualité optique est, de loin, le critère le plus important car la finesse et le contraste de l'image en dépendent étroitement. En revanche, la focale de l'instrument n'a pas d'importance car, quelle qu'elle soit, il faudra l'amplifier à l'aide de lentilles de Barlow ou d'oculaires de projection. Autrement dit, le rapport F/D n'est pas un critère de choix pour un instrument planétaire : les instruments à petit rapport F/D peuvent donner d'aussi bonnes photographies planétaires que ceux à grand rapport F/D.

En photographie planétaire, la course au diamètre n'est pas toujours la meilleure solution : mieux vaut un instrument de taille raisonnable mais de bonne qualité et bien maîtrisé qu'un mastodonte impossible à dompter et qui, à cause de la turbulence atmosphérique, n'aura que très rarement un bon rendement. L'expérience montre que l'instrument idéal est finalement celui qui vous convient, que vous utiliserez le plus souvent et que vous connaissez bien !

Deux caractéristiques sont souvent citées comme importantes pour la qualité d'image : le chromatisme (ou aberration chromatique) sur les lunettes et l'obstruction centrale sur les télescopes.

L'aberration chromatique

Une lentille simple de forme convenable est capable de faire converger les rayons lumineux issus d'une étoile en un seul point du foyer, mais seulement pour une seule longueur d'onde (couleur). Les autres radiations convergent en d'autres endroits situés en avant ou en arrière car l'indice de réfraction du verre varie selon la longueur d'onde. Lorsque la mise au point est bonne pour une couleur, par exemple le vert, l'image est entourée d'une auréole colorée composée de violet, de bleu et de rouge ; cette auréole détruit le contraste et la netteté de l'image. La lunette de Galilée, dont l'objectif était composé d'une seule lentille, donnait une image bien plus mauvaise que les lunettes d'entrée de gamme actuelles ! Il a fallu attendre l'invention de l'objectif achromatique, composé de deux lentilles d'indices de réfraction différents, pour obtenir une correction plus satisfaisante. Cependant, le terme



Une lentille simple présente un point de convergence des rayons différent selon la longueur d'onde.



Portion d'une image de Lune prise avec un appareil numérique sur une lunette achromatique. Le liseré pourpre entourant le limbe est dû à l'aberration chromatique de la lunette.

achromatique est trompeur car il peut laisser penser que l'aberration a été totalement éliminée ; en réalité, un objectif achromatique permet à deux longueurs d'onde de converger au même point, en général dans le bleu et le rouge, le vert restant confiné dans des limites raisonnables. Mais le décalage du foyer est de plus en plus prononcé à mesure que l'on s'éloigne vers le rouge profond et le violet : une diffusion de lumière violette ou pourpre est souvent visible sur les objets brillants (étoile, limbe lunaire). L'aberration chromatique devient plus sensible à mesure que le diamètre de la lunette augmente (à rapport F/D égal) ou que son rapport F/D diminue (à diamètre égal). Afin de minimiser ce

défaut, les lunettes achromatiques présentent donc habituellement des rapports F/D relativement élevés, de l'ordre de 9 à 15.

À l'autre bout de la gamme des réfracteurs sont proposées des lunettes qualifiées d'apochromatiques et dont les objectifs sont composés de deux ou trois lentilles dont certaines sont réalisées à partir de verres spéciaux. Les meilleures lunettes offrent une correction chromatique telle que la dégradation de l'image est imperceptible en observation visuelle et négligeable en photographie, et cela du violet jusqu'à l'infrarouge. Avec l'amélioration de la correction chromatique, les rapports F/D ont pu être ramenés entre 5 et 8 sans que le chromatisme ne redevienne sensible. Les verres spéciaux les plus utilisés sont les verres ED (Extra-low Dispersion) et un cristal de fluorite (ou fluorine) de calcium, ils sont coûteux et donc réservés aux instruments de moyenne et de haut de gamme. Pour compliquer les choses, une jungle de termes techniques – qui n'ont pas toujours le même sens selon le constructeur – est apparue : semi-apochromat, apochromat, ortho-apochromat, neo-apochromat, super-apochromat, etc. De plus, selon le type de verre ED employé, le nombre de lentilles et la formule optique, les performances pourront varier sensiblement d'un modèle à l'autre.

L'œil étant moins sensible au bleu et au rouge qu'au vert, un objectif achromatique qui donne satisfaction en observation visuelle peut causer des surprises en photographie, compte tenu de la sensibilité des appareils dans ces couleurs et même, pour les appareils monochromes, dans l'infrarouge proche. En cas d'aberration chromatique importante dans l'infrarouge, il faudra employer un filtre nommé « anti-infrarouge » (ou IRB : InfraRouge Blocking). En outre, on trouve dans le commerce des filtres sous des dénominations telles que Contrast Booster, Fringe Killer ou Minus Violet. Ils sont destinés aux lunettes achromatiques, leur principe est d'éliminer les longueurs d'onde gênantes, notamment le violet voire une partie du bleu. Ils donnent donc en général une couleur jaune aux objets observés. Utiles sur les lunettes achromatiques, surtout celles à court rapport F/D, ils n'améliorent en aucun cas le contraste sur une lunette apochromatique (ni sur un télescope, naturellement).

L'obstruction centrale

Sur un télescope, le miroir secondaire masque la partie centrale du faisceau lumineux recueilli par l'instrument, ce qui provoque non seulement une perte de lumière mais aussi et surtout une perte de contraste, par effet de diffraction. On exprime généralement l'obstruction par le rapport entre le diamètre du support du miroir secondaire et celui du diamètre optique de l'instrument (mais certains constructeurs la calculent en pourcentage de surface masquée... ce qui permet d'afficher des chiffres en apparence plus favorables). Par exemple, pour un télescope de 200 mm dont le support du miroir

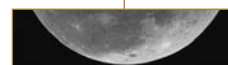
secondaire a un diamètre de 60 mm, l'obstruction vaut 30 %. Elle occasionne une perte de lumière de seulement 9 %, mais son effet est plus important sur le contraste puisque la perte peut atteindre, à certaines échelles de détails planétaires, 30 à 35 %. Sur ces détails, notre instrument de 200 mm présente donc un contraste équivalent à celui d'un instrument non obstrué d'environ 130 mm, tout en conservant cependant les capacités de résolution d'un instrument de 200 mm. Le tableau ci-dessous présente, pour quelques valeurs courantes d'obstruction, la perte de lumière et la perte de contraste maximale. Sur les télescopes de Newton et de Cassegrain, la diminution du contraste provoquée par les branches de l'araignée supportant le miroir secondaire est négligeable.



Images de Saturne traitées de manière classique (compositage et masque flou), obtenues avec une lunette apochromatique de 150 mm de diamètre et une webcam. Des disques en papier placés à l'avant de l'instrument simulent diverses obstructions, respectivement 0 %, 20 %, 35 % et 50 % (de haut en bas).

Valeur de la perte de lumière et de la perte maximale de contraste pour quelques valeurs courantes d'obstruction.

Obstruction	Perte de lumière	Perte de contraste maximale
15 %	2 %	10 %
25 %	6 %	25 %
35 %	12 %	40 %
45 %	20 %	60 %



Dans l'idéal, tous les instruments planétaires seraient des lunettes apochromatiques. Mais l'encombrement et surtout le coût de ces instruments sont rapidement prohibitifs dès que leur diamètre dépasse 100 à 130 mm. Un télescope de bonne qualité optique, de diamètre largement supérieur, présentera quant à lui un bien meilleur rapport performances/coût, le supplément de contraste dû au surcroît de diamètre faisant plus que compenser sa diminution due à l'obstruction. En particulier, un Cassegrain classique ou un Newton soigneusement fabriqué et relativement peu obstrué (autour de 20 %) peut être un redoutable outil pour l'amateur souhaitant se spécialiser dans la photographie planétaire. Cependant, même les Schmidt-Cassegrain ou les Maksutov-Cassegrain, ordinairement plus obstrués, ont largement démontré leur capacité à obtenir de bonnes images planétaires. Une faible obstruction n'est pas une garantie d'obtention d'images extraordinaires car elle est rarement le principal facteur limitatif des photos planétaires d'amateurs.

La collimation

Nous avons décrit la méthode de collimation des instruments les plus courants au chapitre 4. Un dérèglement peut être considéré comme une aberration au même titre qu'un défaut de fabrication d'une pièce optique. Pour la photographie des planètes, une décollimation est particulièrement dommageable, elle est capable d'annihiler la qualité optique intrinsèque d'un instrument. Un télescope qui n'est jamais contrôlé ayant très peu de chances de se trouver réglé par le simple effet de la providence, la négligence sur ce point va rarement de pair avec l'obtention de bonnes photographies : le photographe planétaire est dans la même situation que le violoniste qui doit accorder son instrument avant de jouer, sous peine de surprises très désagréables !

La collimation est d'autant plus délicate que la turbulence atmosphérique est forte. En cas d'agitation atmosphérique importante, ne vous acharnez pas sur le réglage ; de toute façon, une telle nuit n'est pas très propice à la photographie des planètes !

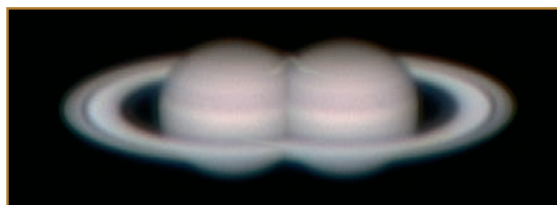
Montures et suivi

Nous examinerons en détail les points relatifs aux différents types de montures et à leur mise en station au chapitre 7, car c'est lors des longues poses que ces points sont les plus critiques. Il nous faut cependant examiner les aptitudes à la photographie planétaire des différents types de montures : monture fixe, monture équatoriale et monture altazimutale.

Monture fixe

Par monture fixe, nous entendons trépied photographique ou tout instrument non motorisé (par exemple un télescope en monture Dobson). À cause de la rotation de la Terre sur elle-même, le mouvement apparent des planètes est d'environ 15" par seconde de temps, soit presque le diamètre du globe de la planète Saturne ! Ce mouvement rapide impose deux contraintes qui rendent délicate la photographie planétaire avec monture fixe.

1. Le temps de pose doit être suffisamment court pour que le bougé de la planète durant la pose n'occasionne pas de perte sensible de résolution. Par exemple, pour un temps de pose de 1/10 s, le bougé est de 1,5", ce qui représente déjà le double de la largeur de la division de Cassini dans les anneaux de Saturne.
2. L'instrument doit être sans cesse recentré sur la planète car celle-ci sort très rapidement du champ de l'appareil. Par exemple, avec un instrument de 3 m de focale, une planète traverse le capteur d'une webcam en moins de 20 s. Pour un APN reflex sur le même instrument, ce temps est d'environ 2 minutes.



Le mouvement apparent de Saturne dû à la rotation de la Terre, sur un intervalle d'une seconde seulement.

En pratique, seule la photographie avec un APN et une focale pas trop longue peut être tentée, tout en restant conscient que la tâche sera malaisée et qu'il sera pratiquement impossible d'obtenir des résultats photographiques à la hauteur de ce que l'instrument offre en visuel.

Monture équatoriale motorisée

La monture équatoriale motorisée, dont nous parlerons plus en détail au chapitre 7, est une solution mécaniquement simple et efficace pour le suivi photographique des astres. La photographie planétaire ne réclame pas un alignement polaire aussi précis que la photographie du ciel profond ; compte tenu des poses courtes, une légère dérive de la planète est sans conséquence. Pour les planètes, une motorisation en ascension droite suffit, la motorisation en déclinaison est un confort pour le centrage de la planète mais n'est pas absolument indispensable.

Monture altazimutale motorisée

Une monture altazimutale est une monture dont les axes de rotation sont vertical pour l'un (altitude) et horizontal pour l'autre (azimut). Si elle est informatisée, elle sait, par pointage d'une ou plusieurs étoiles, se situer dans l'espace et actionner ses deux moteurs à la vitesse adéquate.

Un suivi effectué en mode altazimutal est tout à fait satisfaisant pour l'observation visuelle où l'on demande simplement que l'objet reste visible dans le champ de l'oculaire. Mais en photographie se manifeste l'inconvénient principal de ce système, la rotation de champ : l'objet semble tourner sur lui-même au fil de la nuit. Si l'on utilise un APN et que l'on ne prend qu'une seule photographie de la planète, tout va bien. Mais si l'on doit, comme c'est la règle avec une webcam, composer de nombreuses images, il faut que la rotation de champ n'ait pas eu le temps de se manifester de manière sensible entre la première et la dernière image de la série. En effet, s'il est facile de recentrer entre elles des images planétaires qui n'ont subi que des décalages horizontaux et verticaux, il est quasiment impossible de le faire lorsqu'elles ont de surcroît tourné les unes par rapport aux autres. Avec une webcam, il faudra donc limiter la durée des séquences de prise de vue et s'assurer que la rotation de champ entre la première et la dernière image sélectionnées dans la séquence n'occasionne pas de dégradation de la netteté de l'image. La rotation de champ varie selon la position de la planète dans le ciel (voir encadré page suivante) et, malheureusement, tous les facteurs se conjuguent pour compliquer la photographie planétaire puisque la rotation de champ :



Une monture altazimutale non motorisable peut convenir pour la photographie de quartiers de Lune mais n'est pas idéale pour celle des planètes.

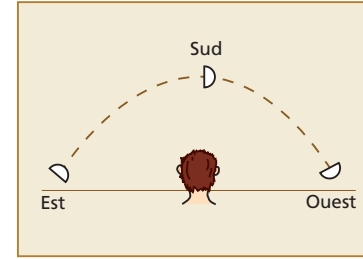


Une monture équatoriale motorisable. En l'absence de moteur, à cause des vibrations et des irrégularités produites, les mouvements manuels peuvent seulement être employés pour recentrer la planète et non pour assurer son suivi continu.



Les instruments tels que les Nexstar de Celestron ou les Autostar et LX de Meade (ci-dessus) sont équipés d'une monture altazimutale motorisée.

- augmente à mesure qu'on s'approche du zénith ;
- est maximale lorsque la planète culmine au méridien ;
- est nulle lorsque la planète est située exactement dans la direction de l'est ou de l'ouest, ce qui est de peu d'utilité pour les habitants des régions tempérées car à ce moment la planète est toujours très près de l'horizon.



Si l'on considère l'être humain comme un système altazimutal, le phénomène de rotation de champ est facile à appréhender en regardant successivement la Lune à son lever, à son passage au méridien et à son coucher.

La rotation de champ en altazimutal

L'ampleur de la rotation de champ dépend de plusieurs paramètres, et en particulier de la position de l'objet dans le ciel du lieu d'observation : sa hauteur H au-dessus de l'horizon et son azimut A (compté à partir du nord, en tournant vers l'est). La rotation de champ R (en degrés) entre deux instants séparés par la durée T (en minutes) vaut :

$$R = 1/4 T \frac{\cos L \cos A}{\cos H}$$

où L est la latitude du lieu d'observation. Par exemple, si Jupiter passe au méridien ($A = 180^\circ$) à une hauteur de 50° vue depuis un lieu de 45° de latitude, la rotation du globe pendant une minute à ce moment vaut $-0,28^\circ$ (une valeur négative signifie que la rotation s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre). À une distance d (en secondes d'arc ou en pixels) du centre de la planète, le bougé B vaut (dans la même unité que d) :

$$B = \pi \frac{dR}{180}$$

Par exemple, une rotation de $0,28^\circ$ en périphérie du disque de Jupiter, dont le rayon mesure environ $23''$, cause un bougé de $0,11''$. Ce bougé est à comparer à l'échantillonnage choisi, il faut qu'il lui soit inférieur.

La combinaison des deux formules précédentes donne le temps maximal T (en minutes) en fonction du bougé maximal admissible :

$$T = 230 \frac{B \cos H}{d \cos L \cos A}$$

L'atmosphère

Demandez aux astrophotographes planétaires quel est leur pire ennemi. Ils vous répondront sans hésiter : la turbulence atmosphérique. L'atmosphère terrestre est en constante agitation et le brassage de masses d'air à différentes températures provoque des déviations sans cesse variables des rayons lumineux. Sur une étoile vue à l'œil nu, cette perturbation se manifeste par sa scintillation. Au télescope, à fort grossissement, cette étoile est altérée de différentes manières :

- elle est agitée de tremblements erratiques et rapides ;
- sa figure d'Airy devient floue, déformée et étalée, elle n'est plus reconnaissable ou seulement de manière fugitive.

Dans la pratique, selon les circonstances du moment, l'un ou l'autre de ces effets pourra être prépondérant et les distorsions pourront être plutôt lentes ou plutôt rapides. À conditions atmosphériques égales, l'effet est perçu différemment en fonction du diamètre de l'instrument. Plaçons-nous dans un site courant d'amateur, non sélectionné pour ses qualités de stabilité atmosphérique. Dans un instrument de diamètre inférieur à 100 mm, la figure d'Airy est fréquemment visible, même si elle est plus ou moins agitée. En revanche, dans un instrument de 300 mm ou plus, observer une belle figure d'Airy stable est un rare privilège dont vous ne pourrez bénéficier que quelques nuits par an : souvent, la figure d'Airy sera étalée, agitée de soubresauts voire méconnaissable. À cause de la turbulence, le rendement de l'instrument, c'est-à-dire le rapport entre ses perfor-

mances réelles et ses performances théoriques, diminue à mesure que son diamètre augmente (voir encadré). C'est la raison pour laquelle on a coutume de dire qu'un diamètre de 200 mm à 250 mm est un bon compromis pour le planétaire car il offre un rendement intéressant sur un pourcentage de nuits encore acceptable.

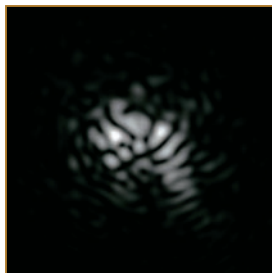
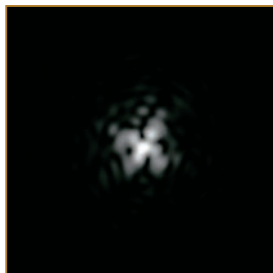
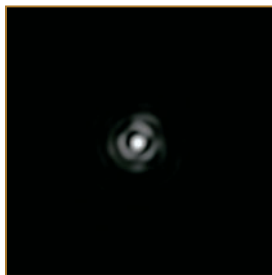
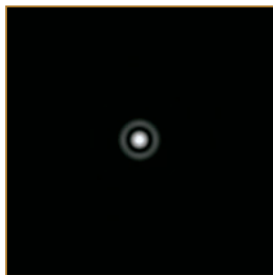
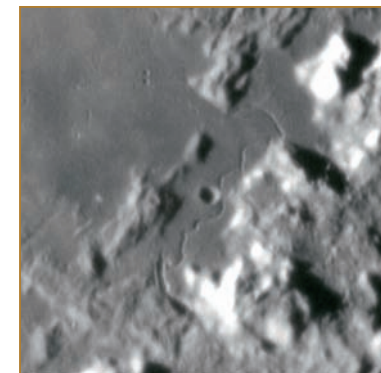
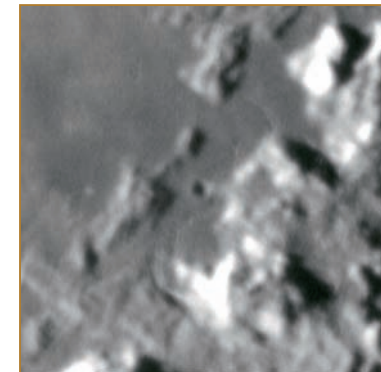
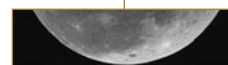


Figure d'Airy vue par turbulence croissante. Au-delà de la deuxième figure, la collimation devient plus délicate et les performances de l'instrument sont fortement dégradées.



Ces deux portions d'images centrées sur Rima Hadley, extraites de la même séquence vidéo, illustrent les variations erratiques de turbulence pouvant survenir en l'espace d'une fraction de seconde.



La turbulence atmosphérique est un phénomène fantasque et largement imprévisible. Des variations très sensibles peuvent se produire en quelques instants. Une nuit peut commencer médiocre et finir fructueuse, ou l'inverse. Les nuits d'hiver claires, froides et sèches ne sont pas forcément propices à une bonne stabilité d'image : transparence rime parfois avec turbulence ! Les venteux ciels de traîne ne sont pas propices non plus. À l'inverse, les nuits sans vent, humides et brumeuses, chez moi plus fréquentes en automne, sont parfois étonnamment stables. Je me souviens d'une nuit magique d'avril 1995 où Mars était figée dans l'oculaire de mon 250 mm : nous étions enveloppés dans une fine couche de brouillard et le télescope ruisselait d'humidité. Autre idée reçue : les sites d'altitude seraient systématiquement favorisés. Là encore, ne confondons pas transparence et turbulence. Si l'observatoire du Pic-du-Midi offre régulièrement de très bonnes conditions, c'est surtout grâce à sa topologie particulière : il s'agit d'un pic isolé, plus haut que les sommets environnants, sur lequel l'air arrive régulièrement en écoulement laminaire. La situation est la même sur le plateau chilien du VLT lorsque le vent vient du Pacifique ou sur certaines îles volcaniques telles que Hawaï ou Les Canaries. Les régions à relief tourmenté et a fortiori les flancs de montagne ou les fonds de vallée peuvent se révéler extrêmement médiocres sur le plan de la turbulence, inférieurs à certains sites situés en bord de mer. C'est ainsi que d'excellentes images ont pu être obtenues dans des sites côtiers, par exemple à La Hague (pointe du Cotentin), au Texas (Houston), en Floride ou à Tahiti. Réservez les nuits les plus turbulentes à la photographie du ciel profond... ou aux essais de matériel : si vous ne vous êtes pas familiarisé avec son maniement avant le jour magique où la turbulence est nulle, vous risquez de ne pas en profiter comme vous l'espérez.

Diaphragmer son télescope en cas de turbulence ?

Certains amateurs conseillent de diminuer l'ouverture du télescope, en plaçant un diaphragme à l'avant, pour obtenir de meilleures images lorsque la turbulence est importante. Lorsqu'un diaphragme permet effectivement d'améliorer la qualité de l'image, c'est que l'instrument souffre d'un défaut tel qu'une qualité optique défectueuse ou un dérèglement. Dans le cas contraire, la pleine ouverture ne peut donner une image inférieure à celle de l'ouverture réduite même si, en présence d'une forte turbulence, la différence entre les deux est imperceptible. Cependant, la pleine ouverture conserve l'avantage car elle reprend le dessus dans les trous de turbulence fugitifs. De plus, elle collecte plus de lumière et permet, à focale égale, des temps de pose plus courts.

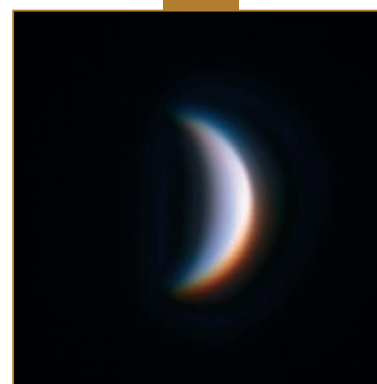
Les effets de la turbulence varient selon la position de la planète au-dessus de l'horizon. Plus elle en est proche, plus l'épaisseur de la couche d'air perturbée à traverser est grande, et plus l'image est dégradée. Ainsi, par rapport au zénith, la longueur du trajet à travers l'atmosphère est doublée pour une hauteur de 30° au-dessus de l'horizon, elle est quadruplée pour une hauteur de 15°. C'est la raison pour laquelle les heures entourant la culmination des planètes (passage au méridien) sont privilégiées par les astrophotographes planétaires. Pour une planète de déclinaison δ , la hauteur au passage au méridien d'un lieu de latitude L vaut $(90^\circ - L + \delta)$. Une déclinaison positive est donc favorable aux observateurs de l'hémisphère nord puisque la planète grimpe plus haut dans le ciel et reste plus longtemps à hauteur convenable.

La dispersion atmosphérique

Une faible hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon a une autre conséquence néfaste que la turbulence, cette fois due à la dispersion atmosphérique. L'atmosphère agit un peu à la manière d'un prisme, elle dévie les rayons lumineux dans le sens vertical. Cet effet, baptisé réfraction atmosphérique, varie malheureusement selon la longueur d'onde : les rayons bleus sont plus fortement déviés que les rouges. Cela se traduit, sur une planète ou une étoile proche de l'horizon, par un

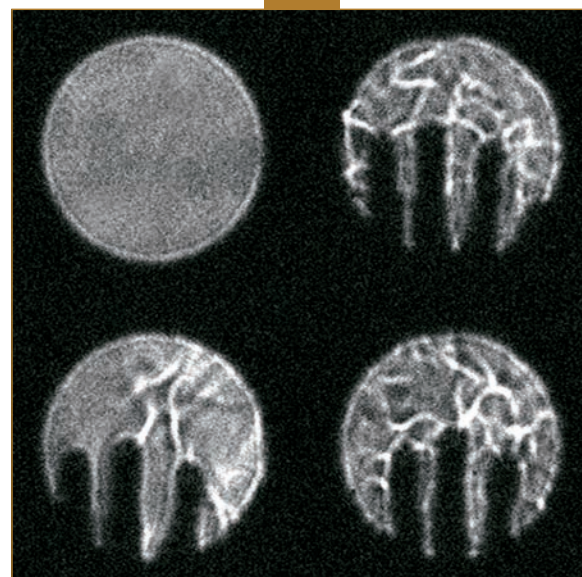
liseré bleuâtre sur la partie supérieure de l'image (vers le zénith) et un liseré rougeâtre sur la partie inférieure (vers l'horizon). L'écart entre les rayons bleus et rouges atteint 1/2'' à 50° au-dessus de l'horizon, 1'' à 30°, 2'' à 15° et 3'' à 10°. Lorsque les images d'une planète basse sur l'horizon ont été réalisées avec un capteur couleur et montrent un décalage, il est toujours possible de décaler les couches rouge, verte et bleue au traitement pour les ramener en coïncidence.

La turbulence atmosphérique prend son origine dans la circulation des masses d'air à plus ou moins haute altitude. Mais il existe d'autres causes de turbulence, en particulier certains phénomènes locaux. Par exemple, votre ligne de visée ne doit pas passer au-dessus d'une cheminée ou d'une automobile dont le moteur est encore chaud. Il faut également empêcher des personnes de se placer devant votre instrument. Évitez à tout prix d'observer l'hiver à travers une fenêtre ouverte, les échanges d'air détruiraient une bonne partie de la netteté de l'image (quant à observer à travers une fenêtre fermée, n'y pensez même pas : une vitre ordinaire n'a pas les qualités de polissage requises pour l'optique astronomique, elle est bien pire que le plus médiocre instrument astronomique que vous pourriez trouver !). Quant aux coupoles astronomiques hémisphériques, malgré leur esthétique indéniable, ce ne sont pas toujours des solutions idéales sur le plan thermique car la chaleur emmagasinée durant la journée ou celle dégagée par les astronomes et leurs ordinateurs s'échappe par la trappe. Un abri s'ouvrant largement, tel qu'un abri à toit roulant, est préférable.



Vénus était très basse sur l'horizon lorsque cette image a été réalisée à l'aide d'une webcam couleur sur une lunette. La dispersion atmosphérique décale les couleurs selon la verticale du lieu d'observation : suivant les orientations du capteur et de l'instrument par rapport à l'horizon, ce décalage peut prendre sur l'image des orientations diverses.

Troisième cause de turbulence : l'instrument lui-même. Lorsque celui-ci n'est pas en équilibre thermique avec son environnement, des mouvements de masses d'air à différentes températures se produisent et dégradent la netteté des images ; une différence de 1°C à 2°C suffit à provoquer un effet perceptible ! En outre, lorsque les miroirs ne sont pas en équilibre thermique, ils se déforment et donnent naissance à des aberrations optiques. De ce point de vue, les lunettes sont légèrement favorisées car les déformations des lentilles dégradent moins les images que les déformations des miroirs, de plus le faisceau lumineux ne traverse l'air enfermé dans leur tube qu'une seule fois, contre deux ou trois fois pour les télescopes. L'expérience montre que laisser l'instrument une heure à l'extérieur avant de l'utiliser est souvent très bénéfique. L'hiver, lorsqu'il sort d'un logement chauffé, deux heures ne sont pas superflues. En revanche, un instrument laissé dans un véhicule au Soleil ne parviendra peut-être pas à atteindre l'équilibre thermique, même au bout de plusieurs heures.



Le corps humain est un redoutable radiateur, comme en témoignent les veines d'air chaud issues de la chaleur dégagée par une main placée devant l'ouverture de l'instrument.