

LA VISION DANS LES INSTRUMENTS ASTRONOMIQUES ET L'OBSERVATION PHYSIQUE DES SURFACES PLANÉTAIRES ⁽¹⁾

par JEAN DRAGESCO

maître de recherches au C.N.R.S.

INTRODUCTION

En dépit des spectaculaires progrès de la photographie astronomique, l'observation visuelle des surfaces planétaires garde encore toute sa valeur chaque fois qu'il s'agit d'étudier les plus fins détails susceptibles d'être mis en évidence par les meilleurs télescopes. Car l'œil humain reste encore mieux adapté que la plus fine des émulsions sensibles à la perception des plus faibles contrastes planétaires. C'est pourquoi les meilleurs spécialistes de Mars, ainsi que les cartographes de la Lune, ne se contentent pas de prendre des clichés, mais font souvent appel à l'observation visuelle pour préciser certains détails que les photographies mettent mal en évidence. D'importantes découvertes récentes ont été dues à l'observation visuelle (il nous suffit de citer ici les planisphères des satellites de Jupiter, établis à l'Observatoire du Pic-du-Midi).

Bien entendu, pour l'amateur, l'observation visuelle présente deux avantages supplémentaires : l'agrément de la contemplation d'une belle image et les facilités techniques qui en découlent, un excellent dessin planétaire pouvant être exécuté à l'aide d'un instrument azimutal, dépourvu d'entraînement horaire. Il est donc de toute première importance d'étudier ce récepteur merveilleux qu'est l'œil humain.

L'ŒIL HUMAIN

1° Perception des contrastes

L'une des propriétés essentielles de la vision, en ce qui concerne l'observation télescopique, a trait à la perception des contrastes. Sur un objet étendu, une surface planétaire par exemple, l'œil perçoit des différences de brillance et de couleur.

Suivant Danjon et Couder ⁽²⁾, si deux plages sont inégalement lumineuses, nous appellerons *contraste* la différence relative de leurs brillances

$$\gamma = \frac{B - b}{B}$$

⁽¹⁾ Nous commençons ici une série de trois articles rédigés par notre collègue J. Dragesco d'après des exposés du Séminaire international d'astronomie pratique de Nancy (31 mars-2 avril 1967) (voir *L'Astronomie* 1967, p. 431). Ces articles se proposent de donner des bases pratiques et théoriques aux observations des surfaces planétaires.

⁽²⁾ On se référera constamment à *Lunettes et Télescopes* de A. DANJON et A. COUDER, publié en 1935 (Édition de la Revue d'Optique), malheureusement épuisé et pratiquement introuvable, même d'occasion.

Si les plages sont de même brillance, $\gamma = 0$. Au contraire, si l'une d'entre elles est infiniment plus brillante que l'autre, $\gamma = 1$. L'œil ne pouvant distinguer un contraste inférieur à une certaine limite, nous appellerons γ_0 le plus petit contraste perceptible. Mais ce γ_0 est aussi fonction de la brillance totale. Si pour un bon éclaircissement un contraste de $\frac{1}{200}$ est encore perceptible, au seuil de la sensibilité de la rétine γ_0 tend vers l'unité.

Le tableau suivant nous montre que, si pour Mars et la Lune l'œil possède encore une excellente sensibilité au contraste, elle est déjà bien plus réduite pour Jupiter.

Brillance de quelques objets célestes (d'après *Lunettes et Télescopes*)

Lune.....	0,25	candela par cm ²	(ou stilb)
Vénus.....	3	—	—
Mars.....	0,2	—	—
Jupiter.....	0,05	—	—

2° Acuité visuelle

L'acuité visuelle est une propriété de l'œil d'une importance capitale pour nous. Elle détermine le pouvoir résolvant de l'œil, c'est-à-dire la possibilité de percevoir distinctement des objets très rapprochés. Pour établir

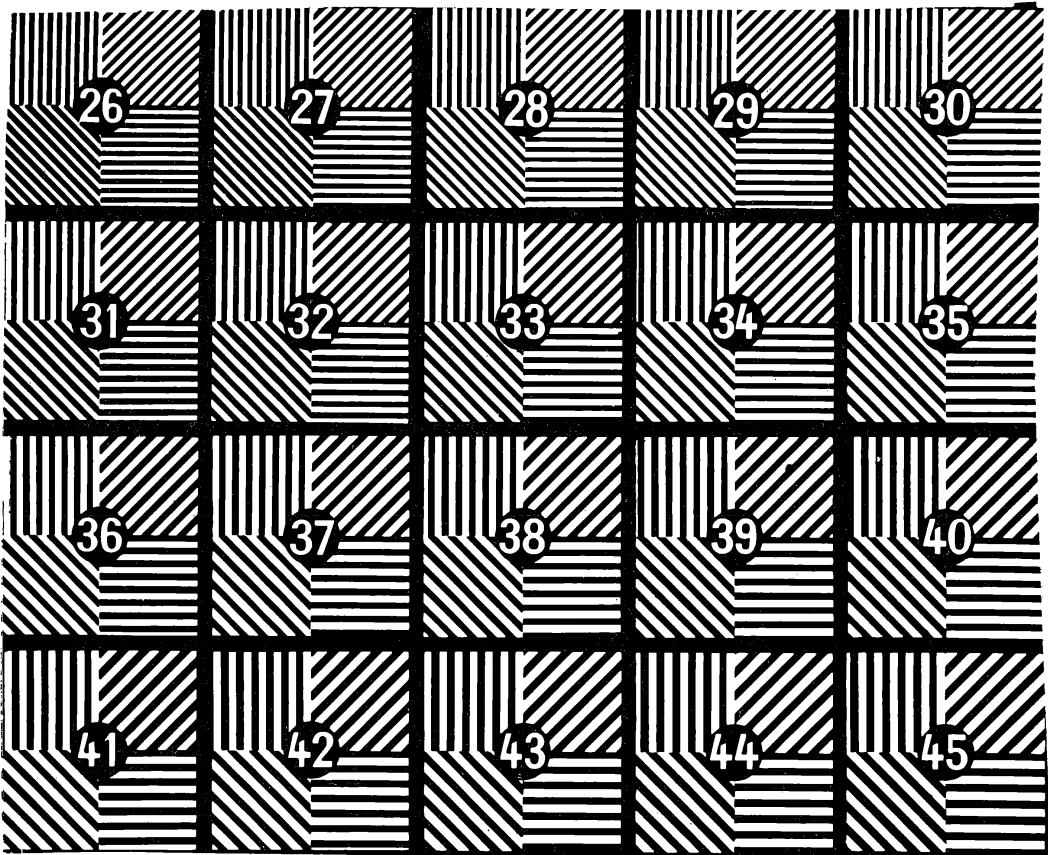


Fig. 164. — Mire de Foucault.

LA VISION DANS LES INSTRUMENTS ASTRONOMIQUES

cette acuité visuelle on peut faire appel à divers types de mires, dont les plus connues sont les mires de Foucault (que l'on peut se procurer, pour une somme modique, aux Éditions de la Revue d'Optique).

Ces mires consistent en structures périodiques, traits blancs et noirs de mêmes épaisseurs, dont le pas est régulièrement décroissant. Placées à dix mètres de distance, les mires de Foucault permettent de déterminer, sans aucun calcul, le pouvoir résolvant de l'œil (le chiffre qui figure au centre de chaque mire correspond à l'écartement des traits de la mire en minutes de degré (fig. 164). Il est facile à quiconque de déterminer le pouvoir résolvant de l'œil d'un observateur en fonction d'un éclaircissement déterminé. En fait, les mires de Foucault ne représentent pas la solution idéale pour déterminer l'acuité visuelle, car elles présentent deux grands défauts. En premier lieu, le contraste est beaucoup trop fort et sans aucun rapport avec les contrastes effectivement rencontrés dans la nature. Il serait donc préférable de contretyper soi-même les mires de Foucault, de manière à obtenir, non pas des traits noirs et blancs, mais des traits gris-pâle et blancs dont la résolution est beaucoup plus difficile. En outre, les traits de la mire de Foucault étant très allongés, leur perception en est facilitée. Il vaudrait donc mieux réaliser une mire suivant le principe de Houdaille, où les traits noirs et blancs sont remplacés par des disques dont le diamètre est identique à la distance qui les sépare (fig. 165).

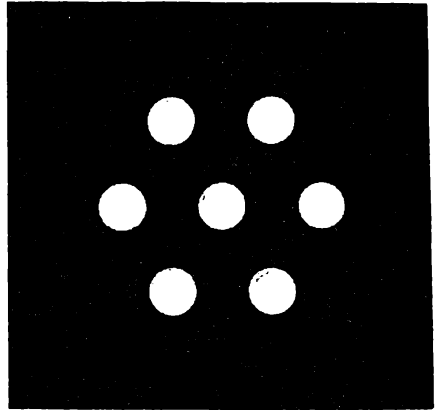


Fig 165. — Mire de Houdaille.

Quel que soit le type de mire utilisé, il est important de pouvoir faire varier le contraste et l'éclaircissement. Car, si le contraste est grand et la lumière intense, l'acuité visuelle est à son maximum et peut être meilleure que 1' pour un œil humain normal. En revanche, si le contraste est faible, elle se réduit facilement à 2'. Mais, bien entendu, les détails planétaires ne présentent pas de structure périodique. En outre, le problème est tout à fait autre lorsqu'il s'agit, non pas de *séparer deux détails contigus*, mais tout simplement de percevoir *un détail isolé*.

D'après W. H. Pickering ⁽¹⁾, un bon observateur peut percevoir des taches circulaires noires dont le diamètre ne dépasse guère 30". Suivant Pickering, Maunder et Lowell, l'œil humain est capable de percevoir un fil noir sur fond blanc (par exemple : un fil télégraphique se détachant dans le

⁽¹⁾ Cité par J. B. SIDGWICK, dans *Observational Astronomy for Amateurs*, éditions Faber and Faber, Londres.

ciel), lorsque son diamètre est compris entre 0",44 et 1",2 (ce qui représente le pouvoir séparateur d'une lunette de 15-16 cm de diamètre...).

Ce fait est confirmé par Y. Legrand et Ch. Fabry qui admettent qu'un fil télégraphique se voit à l'œil nu, même lorsqu'il sous-tend seulement 1 seconde de degré (c'est-à-dire 1/60 du pouvoir séparateur).

De ce point de vue, nous avons procédé, nous-même, à des expériences concernant la visibilité, à l'œil nu, de divers types de structures (nous devons préciser que ces études ont été faites en 1942, lorsque nos yeux étaient meilleurs que maintenant...).

Nous avons d'abord établi le pouvoir séparateur de nos yeux sur mire de Foucault-Bigourdan. En lumière blanche, l'œil droit (utilisé pour les observations planétaires) résolvait 56" (tandis que l'œil gauche ne résolvait que 61"). Les expériences nous ont prouvé :

1° qu'un point sombre sur fond clair (tache circulaire faite au compas) se voit encore fort bien lorsque son diamètre atteint 31" pour un contraste maximal de 1 (et seulement 35" et 43" pour des contrastes de 0,8 et 0,5) ;

2° qu'une tache circulaire claire sur fond obscur se voit, même si son diamètre descend jusqu'à $25" \left(\frac{R}{2,2} \right)$ pour un contraste de 1 (et jusqu'à 28" et 33" pour des contrastes 0,7 et 0,4) ;

3° qu'une ligne sombre sur fond clair (cent fois plus longue que large) se voit encore lorsque son épaisseur descend jusqu'à 5",5 (et 10" pour un contraste de 0,6). Ceci paraît faible en comparaison avec les données de Pickering et Legrand-Fabry (1"). Mais il faut remarquer que le fil télégraphique représente un cas extrême, particulièrement favorable (longueur infiniment grande, luminosité et contraste maximaux).

Quoi qu'il en soit, ces expériences nous ont montré qu'une lunette de 150 mm, séparant normalement 0",8, devait permettre l'observation d'une division de 0",12 sur l'anneau de Saturne (à condition que son contraste soit très élevé).

Des études relativement récentes de Fabry et Arnulf ⁽¹⁾ ont montré à quel point les propriétés de l'œil interviennent dans l'observation à l'aide des instruments d'optique. Divers auteurs, dont Fabry, avaient déjà signalé l'imprécision des mires de Foucault, les considérations de contraste jouant un rôle primordial (avec les mires à contraste maximal, même des instruments médiocres peuvent donner de très bons résultats).

C'est pourquoi Arnulf a utilisé une mire, dérivée de celle de Foucault, mais à *contraste variable*. Ses expériences ont montré une grande amélioration de la qualité de l'œil par *diaphragmation* (même aux faibles brillances). Il en résulte que l'œil ne peut être considéré comme parfait que pour des ouvertures pupillaires variant entre 0,5 et 0,7 mm. D'après le professeur Arnulf,

⁽¹⁾ *La vision dans les instruments*, par Ch. FABRY et A. ARNULF, publié en 1937 par les Éditions de la Revue d'Optique, Paris.

LA VISION DANS LES INSTRUMENTS ASTRONOMIQUES

dans l'intervalle de brillance de l'objet compris entre 0,05 et 3 stilbs et pour des pupilles varient entre 0,5 et 0,7 mm, l'œil, quel que soit le contraste, peut être considéré comme un instrument d'optique parfait, dont la qualité est limitée uniquement par les phénomènes de diffraction.

Si l'œil observe dans un instrument visuel parfait, sa limite de séparation spécifique est déterminée par la limite de séparation spécifique de l'œil nu

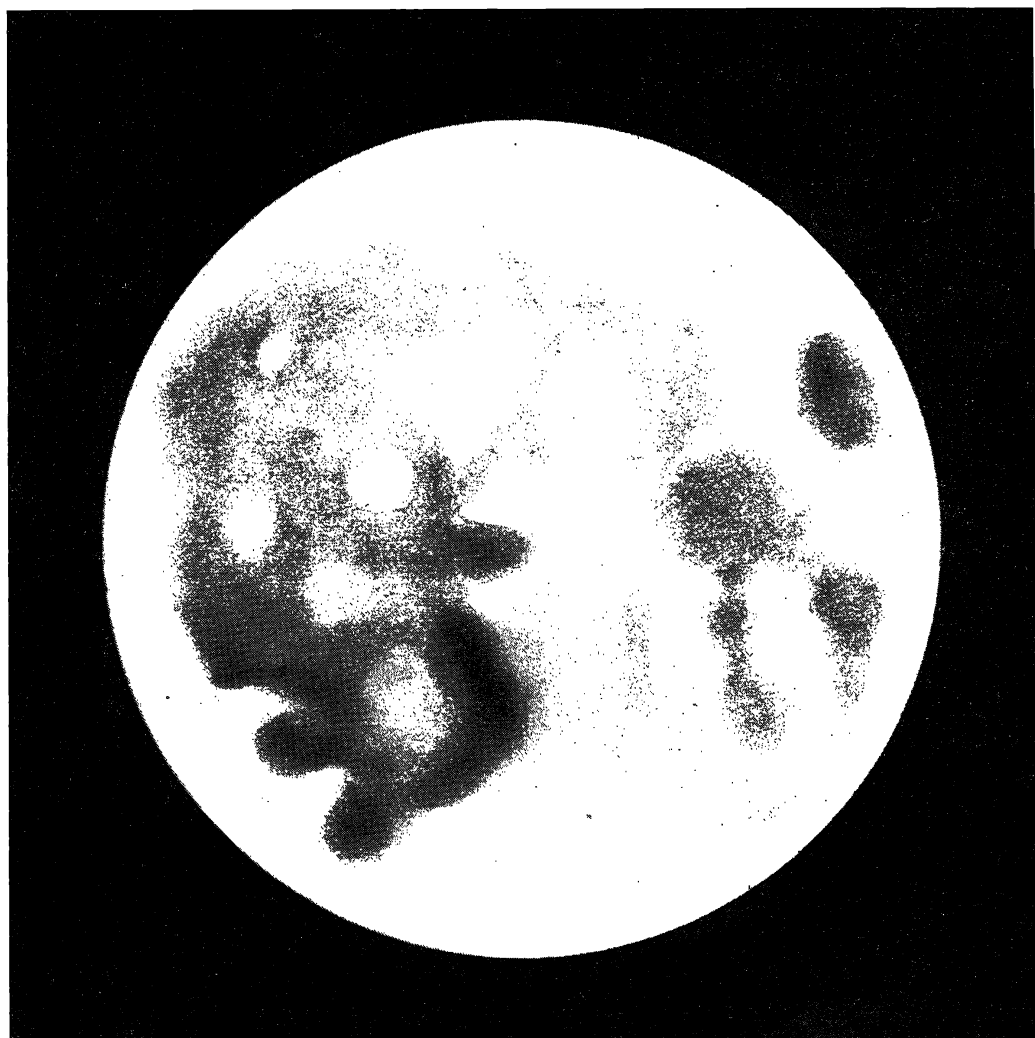


Fig. 166. — Dessin de la Lune, à l'œil nu, par J. Dragesco.

observant dans les mêmes conditions de brillance, contraste et ouverture pupillaire que lorsqu'il est associé à cet instrument (A. Arnulf). Il est donc désavantageux d'utiliser une pupille de sortie de l'instrument plus grande que celle de l'œil. A moins qu'il ne s'agisse de très faibles contrastes, le diamètre de la pupille de sortie ne devra guère dépasser 0,7 mm (ce qui équivaut à un grossissement de 230 sur un télescope de 150 mm). L'utilisation de faibles grossissements sur des télescopes de grande ouverture ne met donc pas l'œil dans les meilleures conditions d'efficacité.

J. DRAGESCO

Pour conclure, nous dirons qu'il est fort important qu'un observateur débutant puisse examiner et exercer son œil, en commençant par analyser son acuité visuelle et, surtout, en s'exerçant à l'observation des détails planétaires et à leur représentation. Il n'est guère nécessaire, pour cela, de posséder un télescope.

Un exercice salutaire et très instructif, à plus d'un titre, consiste dans l'observation de la Pleine Lune à l'œil nu. Un amateur exercé arrive à distinguer de très nombreux détails et le dessin qui doit en résulter renseigne fort utilement sur l'équation personnelle d'un observateur donné (fig. 166). Il est plus intéressant encore de réaliser expérimentalement les conditions mêmes de l'image télescopique. Il suffit de dessiner un certain nombre de taches complexes sur un disque circulaire (rappelant vaguement une planète, comme Mars ou Jupiter par exemple) et d'observer ce dessin à l'aide d'une petite longue-vue (à une distance suffisante pour que les plus fins détails soient noyés par la diffraction). En plaçant une casserole d'eau bouillante juste devant l'objectif, on peut même obtenir une forte turbulence atmosphérique. Un dessin obtenu dans ces conditions permet de se faire une idée très précise, quant à la valeur réelle d'un observateur donné, en comparant entre eux les dessins de plusieurs auteurs et en les jugeant en fonction du dessin original (en une seule opération, il devient possible d'évaluer : pouvoir séparateur, sensibilité au contraste, précision de la mise en page et rendu des détails, et de savoir exactement le crédit qu'il faut accorder à chaque observateur testé). Hélas, c'est une expérience qu'on n'ose généralement pas réaliser... de peur de froisser certains participants !

Il est évident que les débutants ne doivent surtout pas se décourager. L'œil s'éduque, non seulement pour mieux percevoir les détails fins, mais aussi pour mieux les comprendre (c'est ainsi que l'œil droit de l'auteur « comprend » mieux l'image que son œil gauche... qui est pourtant plus sensible).

Il semble aussi que l'œil jeune est mieux adapté à l'observation télescopique, sa souplesse lui permettant de suivre les variations constantes de la mise au point, par suite de légères modifications de la longueur focale en fonction de la turbulence. Quoi qu'il en soit, il est certain que l'entraînement joue un très grand rôle dans la compréhension des images planétaires.

L'IMAGE TÉLESCOPIQUE

Il nous faut maintenant étudier de quelle façon intervient l'image télescopique elle-même dans la vision de détails planétaires.

La diffraction

Les premières lunettes astronomiques n'étant pas achromatiques, leurs longueurs focales devaient être démesurées afin de diminuer l'importance du spectre secondaire. Comme, d'autre part, la théorie de la diffraction

LA VISION DANS LES INSTRUMENTS ASTRONOMIQUES

n'avait pas encore été élaborée, on cherchait à augmenter le grossissement par le jeu des focales, sans tenir aucunement compte de l'ouverture totale de l'objectif. Aujourd'hui, nous savons que l'optique géométrique n'est valable qu'en première approximation. Nous devons à l'optique ondulatoire la connaissance des paramètres qui définissent l'acuité d'un instrument astronomique. La théorie de la diffraction de la lumière nous apprend que l'objectif astronomique, aussi grand soit-il, ne recevant qu'une infime partie de l'onde lumineuse émise par l'astre étudié, ne peut nous en donner qu'une image trompeuse. Vu les distances énormes qui les séparent de nous, les étoiles peuvent être considérées comme étant des sources de lumière rigoureusement ponctuelles. Un objectif parfait devrait donc nous en donner une image sans dimensions appréciables, toute l'énergie lumineuse se trouvant concentrée en un point infime. Il n'en est malheureusement rien. Tout

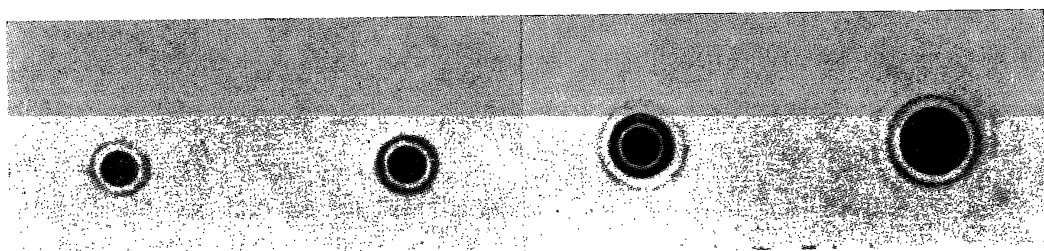


Fig. 167. — Figure de diffraction au foyer d'un objectif parfait, photographiée sur une étoile artificielle avec des durées d'exposition croissant en progression géométrique (reproduction du cliché négatif).

au contraire, un objectif astronomique parfait est obligatoirement entaché de diffraction et, au lieu d'une image ponctuelle, nous fournit l'image d'un faux disque, ou disque d'Airy, dont le diamètre est inversement proportionnel au diamètre de l'objectif. Lorsqu'on observe une étoile artificielle à l'aide d'un objectif parfait en utilisant un oculaire de courte focale, l'image de cette source de lumière ne nous apparaît pas comme un point lumineux infiniment petit, mais sous la forme d'un disque aux bords légèrement estompés, entouré par un ou plusieurs anneaux plus faiblement éclairés (fig. 167). Il est évident que la finesse de l'image dépendra du diamètre de ce faux disque. Il est donc de la plus haute importance de connaître les paramètres dont dépend le diamètre du disque de diffraction. La théorie et la pratique sont d'accord pour lui donner un rayon angulaire

$$a = 1,22 \frac{\lambda}{D} \times 206\,265''$$

ce qui revient à dire que son diamètre est inversement proportionnel au diamètre D de l'instrument astronomique considéré (car nous pouvons considérer λ comme représentant une constante égale à $5\,500 \text{ \AA}$).

Il est plus pratique de simplifier cette formule et de l'écrire

$$a = \left(\frac{14}{D \text{ cm}} \right)''$$

(a est obtenu en secondes de degré).

Le rayon angulaire *a* de la tache de diffraction (disque d'Airy) dépend donc seulement du diamètre de l'objectif et atteint 1'' pour un objectif de 14 cm (fig. 168).



Fig. 168. — Images de diffraction d'une petite tache noire de 1'' de diamètre (à gauche) données par des objectifs d'ouvertures respectives : 7, 14, et 28 centimètres.

Pouvoir résolvant

Si la connaissance du diamètre exact du disque de diffraction nous donne un excellent moyen de mesurer l'efficacité d'un instrument quelconque, il est encore plus intéressant d'essayer de définir le pouvoir résolvant lui-même. Or il est évident que la résolution des composantes d'une étoile double serrée sera fonction du diamètre du faux disque. La pratique montre que l'on arrive à deviner la nature double d'un tel astre lorsque la distance qui sépare leurs centres est égale à 0,85 du rayon angulaire *a*, ce qui revient à dire que le pouvoir résolvant *R* est légèrement plus petit que la valeur du rayon angulaire de la tache de diffraction *a* :

$$R = \left(\frac{12}{D \text{ cm}} \right)''$$

TABLEAU I

DIAMÈTRE DE L'OBJECTIF	POUVOIR SÉPARATEUR	DIAMÈTRE DU DISQUE D'AIRY
6 cm	2''	4'',6
12 cm	1''	2'',3
18 cm	0'',75	1'',65
24 cm	0'',50	1'',15
36 cm	0'',37	0'',90
48 cm	0'',25	0'',60
100 cm	0'',12	0'',30
200 cm	0'',060	0'',15
500 cm	0'',024	0'',056

LA VISION DANS LES INSTRUMENTS ASTRONOMIQUES

Cela signifie donc qu'un objectif de 12 cm est capable de montrer la nature double d'un couple d'étoiles dont les composantes sont séparées par une distance de 1". Il est donc facile de calculer les pouvoirs séparateurs de divers instruments, lorsqu'on connaît les diamètres de leur ouverture libre.

Il devient évident, en regardant ce tableau, que, le pouvoir résolvant augmentant en proportion directe de l'ouverture libre d'un instrument astronomique donné, les instruments les plus grands devraient donner les meilleurs résultats pour l'observation des fins détails planétaires.

On comprend d'ailleurs aisément que les détails que l'on observe ne nous apparaissent pas tels qu'ils sont réellement, mais altérés par la diffraction. L'existence du faux disque et des anneaux qui l'entourent modifie l'aspect des objets que l'on observe.

Ainsi que le remarquent Danjon et Couder, l'image de diffraction d'une ligne droite sombre nous apparaît élargie par suite de l'existence d'un dégradé grisâtre tout le long de la limite des deux plages. De même, dans un objectif de 14 cm, l'image d'un satellite de 1" est diffusée et étalée par la diffraction, jusqu'à 3", tandis que la brillance au centre n'est plus que 0,6 de sa valeur initiale. L'ombre de ce même satellite (lorsqu'il passe devant la planète) n'est plus qu'une tache grise à bords dégradés. Toujours d'après Danjon et Couder, une tache circulaire sur Mars, dont le diamètre est de 1" et le contraste 0,5, nous apparaîtra dans un objectif de 14 cm sous un contraste de 0,3 (tandis qu'une tache de 0",5 disparaîtrait complètement, son contraste tombant à 0,1 seulement).

Nous voyons donc que la diffraction modifie profondément la structure fine de l'image télescopique, autant dans sa forme que dans ses contrastes. Tout détail dont les dimensions angulaires sont du même ordre de grandeur que celles du faux disque de diffraction risque d'être traduit de manière infidèle.

Le grossissement

Facteur d'importance secondaire, mais dont nous devons parler ici, le grossissement n'est qu'un artifice destiné à rendre les détails de l'image télescopique accessible à notre vue. Sachant que l'œil ne sépare qu'une minute de degré dans les meilleures conditions, il devient évident qu'il nous faudra utiliser un grossissement d'au moins 60 pour pouvoir bénéficier du pouvoir séparateur d'une lunette de 120 mm d'ouverture. On peut donc définir un *grossissement résolvant* qui se traduit par

$$Gr = 60'' = \frac{D \text{ cm}}{12} \times 5D \text{ cm} = R \text{ mm} \quad (\text{Danjon et Couder})$$

Le grossissement résolvant, c'est-à-dire celui qui nous permet tout juste de voir tous les détails de l'image, est égal au nombre qui mesure le rayon d'ouverture de l'objectif en millimètres (et qui correspond à un cercle oculaire de 2 mm). En fait, étant donné qu'il ne s'agit pas de réaliser une prouesse optique, mais de voir « confortablement » les détails de l'image et sachant aussi que l'œil est un récepteur parfait, pour une ouverture pupillaire plus faible (0,7-1 mm) il est préférable d'utiliser des grossissements nettement

plus élevés. En pratique, les grossissements utiles varient entre $0,5D$ et $2D$; on admet qu'un grossissement égal au diamètre de l'ouverture (en millimètres) représente une bonne solution (ouverture pupillaire = 1 mm). Mais, en fait, le grossissement réellement utilisable étant aussi fonction de la brillance du sujet et de la turbulence atmosphérique, il est difficile de donner plus de précisions. Rappelons que, si pour des ouvertures plutôt petites les grossissements utiles atteignent $1,6D$ (170 pour une lunette de 110), ils dépassent rarement $0,5D$ pour les instruments un peu puissants (300 pour une lunette de 60 cm).

Car ici intervient aussi la notion de la *clarté* T pour les astres d'étendue sensible (Danjon et Couder). Elle est égale au carré du rapport du grossissement minimal ou équipupillaire (c'est-à-dire celui qui correspond à une ouverture pupillaire de 6 mm et qui est égal au tiers du grossissement résolvant) au grossissement réellement utilisé en tenant aussi compte du facteur de transmission de l'instrument (qui est, en moyenne, égal à 0,6). La clarté T diminue considérablement lorsque le grossissement augmente. C'est ainsi, par exemple, que sa valeur est de 0,07 pour G_r , elle tombe à 0,018 pour $2G_r$. L'emploi du télescope diminue la brillance apparente des objets. Tout se passe comme si l'on regardait l'image, de même brillance que l'objet, à l'aide d'un œilleton ayant un diamètre égal à celui du cercle oculaire.

Ainsi que le remarquent Danjon et Couder, on ne gagne rien — du point de vue de la brillance — à utiliser un grossissement inférieur au grossissement équipupillaire. Aucun instrument ne peut nous faire voir les objets aussi brillants qu'ils nous paraissent à l'œil nu. Certaines planètes étant fort brillantes (Vénus, Lune, Mars), des grossissements dépassant légèrement $2G_r$ (300 mm pour un télescope de 260 mm) sont parfaitement utilisables. D'autres plus obscures (Jupiter et Saturne) s'accommodent mieux de grossissements plus faibles (G_r à $1,5G_r$).

Il est, en principe, impossible de donner plus de précisions à ce sujet, le grossissement utile dépendant de trop de paramètres variables : facteur de transmission réel de l'instrument, hauteur de l'astre, albédo, transparence et turbulence atmosphériques, acuité visuelle et sensibilité au contraste de l'œil de l'observateur, etc.

Pour faciliter la tâche du débutant nous donnons ci-dessous un petit tableau des grossissements moyens à utiliser dans divers cas.

PLANÈTE A OBSERVER	GROSSISSEMENT UTILE			
	Ouverture			
	150 mm	200 mm	260 mm	310 mm
Vénus.	160	180	200	250
Jupiter, Saturne.	160	200	250	300
Mars, Lune, Mercure.	200	250	300	350
Satellites de Jupiter.	250	300	350	400

Qualité de l'instrument

Dans tout ce qui précède, nous avons admis que l'instrument utilisé était optiquement parfait. Lord Raleigh avait précisé, il y a longtemps déjà, que l'image peut être considérée comme correcte lorsque l'objectif a été taillé