

## CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES ET PROJET

**1. Insuffisance de l'optique géométrique pour la conception correcte de l'instrument astronomique.** - Le lecteur est plus ou moins familiarisé avec ces figures des cours de Physique élémentaire et des ouvrages de vulgarisation, où l'on voit les rayons parallèles provenant d'une source supposée à l'infini, converger en un *foyer* après passage dans un *objectif* réfracteur ou réflexion sur un miroir (objectif réflecteur), montrant ainsi clairement la formation de l'image. Cette image est ensuite examinée avec une sorte de loupe composée qui constitue l'*oculaire*.

On n'insiste pas d'ordinaire suffisamment sur l'importance relative de ces deux éléments. Tous les espoirs de l'astronome sont liés à la grandeur et la qualité de son objectif ; dans le moindre instrument, par ses dimensions, les conditions sévères qu'il doit remplir, les difficultés que comporte sa construction ; il éclipsé complètement l'*oculaire*.

Dans certains grands télescopes modernes photographiques, on utilise directement l'image focale du grand miroir sans aucun intermédiaire. N'est-ce pas merveilleux de pousser ainsi nos sondages astronomiques à l'extrême limite, par le secours d'une seule surface optique !

On pourrait croire, en examinant les figures où les rayons lumineux sont représentés par des droites, que l'augmentation du diamètre de l'objectif ne sert qu'à rassembler davantage de lumière, donc à révéler des étoiles plus faibles ; c'est vrai, mais n'est-ce pas tout. Si les conditions géométriques idéales étaient satisfaites, on aurait au foyer des images d'étoiles dans le sens mathématique du terme, il serait toujours possible de dédoubler le couple stellaire le plus serré même avec le plus modeste objectif puisque dans son plan focal on pourrait sans inconvénient appliquer les grossissements les plus élevés.

On croyait autrefois, effectivement que la perfection des images dépendait uniquement de la qualité du travail de « l'artiste » qui avait taillé l'objectif. On sait maintenant qu'il y a une limite qu'aucune adresse humaine ne saurait tourner et cette limite est imposée par la *nature même des rayons lumineux* qui ne se propagent pas en réalité rigoureusement en ligne droite. A partir d'une certaine précision on ne gagne presque plus rien à parfaire la forme d'un objectif donné.

L'optique géométrique ne constitue donc qu'une première approximation insuffisante pour le praticien qui veut savoir avec quelle précision il doit réaliser son objectif et pour l'usager qui doit connaître la

petitesse des détails accessibles à son instrument, l'optique dite physique constitue une seconde approximation capable de fournir ces renseignements, ce qui ne veut pas dire qu'elle explique tout.

**2. Un peu d'optique physique** <sup>(1)</sup>. - Certains phénomènes physiques comme la diffraction de la lumière et les interférences lumineuses, ne s'expliquent qu'en admettant que la lumière est constituée par quelque chose qui vibre avec une certaine *amplitude* et une certaine *longueur d'onde* caractéristique suivant une loi sinusoïdale, avec une fréquence prodigieuse puisque en une seconde elle a le temps de parcourir près de 300 000 kilomètres en suivant les innombrables sinuosités comprises dans cette distance à raison d'environ 2 000 par millimètre.

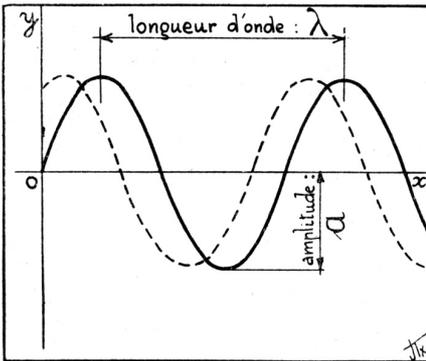


Fig. 1. - Mouvement sinusoïdal

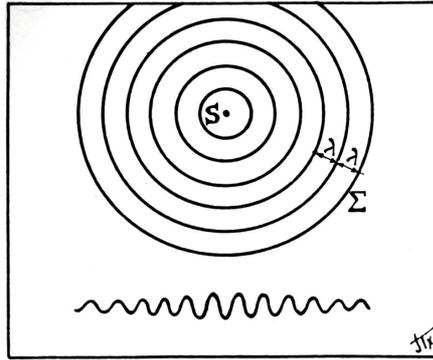


Fig. 2.- Ebranlement ondulatoire

Les mathématiciens désignent l'amplitude des vibrations par  $a$ , leur longueur d'onde par  $\lambda$ , et représentent le « quelque chose » par un vecteur ou par une ligne sinusoïdale (fig. 1), n'ayant évidemment aucun rapport avec la réalité physique qui dépasse notre entendement, mais qui montrent commodément une ou plusieurs particularités intéressantes de son mouvement.

Deux ébranlements lumineux de même amplitude, même longueur d'onde, et qui vibrent synchroniquement suivant une direction identique ne sont pas nécessairement confondus (fig. 1, trait plein et trait interrompu) si le second, par exemple, a dû parcourir un chemin optique supplémentaire différent d'un nombre non entier de longueurs d'onde, on dit qu'il présente une *différence de phase*, dans des conditions données les deux rayons peuvent *interférer* et même se détruire complètement si le déphasage est juste égal à une demi-longueur d'onde, Fresnel fut le premier à dire que de la lumière ajoutée à de la lumière peut quelquefois donner de l'obscurité. Supposons une source lumineuse qui rayonne dans toutes les directions dans un milieu optiquement homogène ; tous les points qui se trouvent à la même distance de la source sont naturellement *en phase* ; la surface qui passe par tous ces points s'appelle une *surface d'onde* ; dans le milieu

(1) Pour plus de détails consulter Les traités classiques de BRUHAT (Masson, édit.) ou de BOUASSE (Delagrave).

homogène supposé, une telle surface ne peut être que sphérique ou plane à la limite, si elle est très éloignée de la source.

On a une image d'un ébranlement ondulatoire en jetant une pierre dans l'eau : au point S il y a émission d'un système d'ondes d'amplitudes décroissantes, mais dont la longueur d'onde reste constante (fig. 2).

**3. Définition de l'objectif parfait.** - L'objectif doit donner une image physiquement parfaite d'une source lumineuse située à l'infini sur son axe. Les définitions sommaires précédentes vont nous aider à comprendre ce qu'il faut entendre par là. Puisque la source est très loin et que l'on suppose le milieu de propagation homogène, les surfaces d'onde incidentes, c'est-à-dire celles qui arrivent à l'objectif, sont planes (fig. 3). Le rôle de l'objectif, qu'il soit réfracteur ou réflecteur, est de restituer des ondes émergentes sphériques concentriques dont le centre est le foyer F.

Si la longueur d'onde de la lumière était infiniment petite, cette définition serait équivalente à celle de l'optique géométrique et le point F serait un point mathématique où se concentrerait toute la lumière ayant atteint l'objectif, on sait qu'il n'en est pas ainsi. On peut s'écarter latéralement d'une petite quantité  $FF'$  avant de tomber dans l'obscurité, le point F n'est donc pas vraiment un point, mais une tache de largeur  $2 FF'$ .

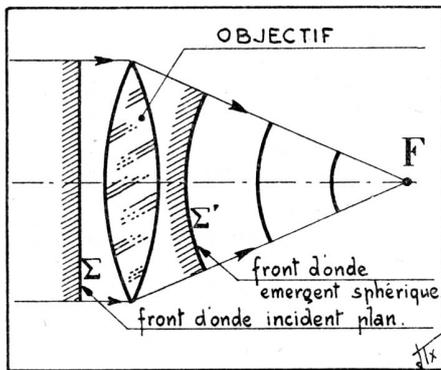


Fig.3. - Rôle de l'objectif

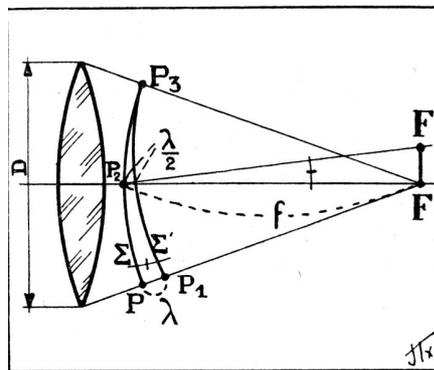


Fig.4. - Grandeur de la tache de diffraction

Si l'objectif est limité par une ouverture carrée, il est facile de déterminer la position du point  $F'$  où l'obscurité est totale <sup>(1)</sup> (fig. 4).

Supposons que le point  $F'$  soit placé à une telle distance de F dans le plan focal, qu'il soit plus rapproché du bord supérieur  $P_3$  de l'onde émergente  $\Sigma$  que de son bord inférieur P, la différence étant juste d'une longueur d'onde ; cela revient à dire que si l'on traçait avec  $F'$  pour centre une surface d'onde fictive tangente au bord supérieur  $P_3$  de la surface d'onde réelle  $\Sigma$ , elle s'écarterait de cette dernière en bas juste d'une longueur d'onde :  $PP_1 = \lambda$ . Cette onde fictive met en évidence le fait intéressant suivant : le trajet  $P_2F'$  compté

<sup>(1)</sup> Nous empruntons cette explication à la traduction de Maurice FARMAN, parue au Bulletin L'A., t. 19, 1905, p. 540, de la brochure de COOKE, *On the adjustment and testing telescopes*.

à partir du milieu de l'onde est plus long d'une demi-longueur d'onde que le trajet  $P_3F'$  qui part de son bord supérieur (proportionnalité des écarts). Mais en vertu d'un principe célèbre dû à Huygens, chaque point de notre onde  $\Sigma$  peut être assimilé à une source de lumière. Il en résulte que nos rayons  $P_2F'$  et  $P_3F'$  qui sont en opposition d'une demi-longueur d'onde au point  $F'$  se détruisent par interférence et ne peuvent donner de lumière en ce point.

Mais cette propriété est vraie pour tous les points de la moitié supérieure de l'onde (n'oublions pas que son contour est un demi-carré) parce qu'ils possèdent un point homologue sur la moitié inférieure qui correspond à un trajet plus long de  $\lambda/2$ , en terminant la première moitié au point  $P_2$  nous finissons la seconde en  $P$  et concluons qu'il ne peut parvenir aucune lumière au point  $F'$  à partir des points sources répartis sur  $\Sigma$  et qui interfèrent complètement en ce point.

La tache de diffraction s'arrête donc en  $F'$  ; il est facile de calculer son demi-côté  $FF'$ .

On a sensiblement (relations inexactes à l'échelle de la figure 4 très différente de la réalité) :

$$FP_2F' = PP_3P_1 \quad \text{mais} \quad FP_2F' = \frac{FF'}{f} \quad \text{et} \quad PP_3P_1 = \frac{1}{D}$$

Par conséquent :

$$FF' = 1 \frac{f}{D}$$

En réalité, on utilise des objectifs de contour circulaire, il n'y a pas de correspondance point par point des trajets optiques différents de  $\lambda / 2$  et le calcul du rayon de la tache de diffraction, qui est évidemment circulaire cette fois, est beaucoup plus difficile, nous nous contenterons d'énoncer ici le résultat fondamental du calcul réalisé pour la première fois par G. Airy : le rayon *linéaire* de la tache de diffraction donnée par un objectif de diamètre  $D$ , et de longueur focale  $f$  est égal à :

$$r \text{ linéaire} = 1,22 \ 1 \frac{f}{D}$$

$f / D$  caractérise l'inverse de l'*ouverture relative* de l'objectif ;  $\lambda$  est la longueur d'onde des rayons lumineux ; pour les rayons les plus actifs sur l'œil elle vaut  $0\mu 56$ , donc avec un miroir ordinaire de télescope ouvert à  $f / D = 6$  le rayon de la tache de diffraction mesuré dans le plan focal mesure :

$$r = 1,22 \times 0,56 \times 6 = 4 \text{ microns}, 1.$$

telle est la limite imposée par la diffraction. L'opticien doit retoucher le miroir jusqu'à ce que tous les rayons émergents convergent effectivement dans un petit cercle de cette dimension.

Tous les objectifs ayant même ouverture relative donnent des taches de diffraction identiques, mais dont l'importance angulaire diminue quand la longueur focale  $f$  et par conséquent  $D$  augmentent. Le rayon *angulaire* de la tache de diffraction intéresse au premier chef l'astronome, puisqu'il fixe la limite

du plus, petit détail que l'on peut voir avec certitude dans l'instrument, il vaut en radians :

$$r_{ang} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Pour convertir en secondes d'arc il faut multiplier par 206.265", pour  $\lambda = 0,56\mu\text{m}$  cela donne

$$r'' = \frac{14,1}{D}$$

$\rho$  est en secondes d'arc et D compté en centimètres

Il ne dépend que de la longueur d'onde de la lumière et du diamètre D de l'objectif. L'astronome est beaucoup plus limité que le micrographe dans le choix de la longueur d'onde de la lumière employée ; il est bien forcé d'accepter la lumière des étoiles telle qu'elle peut nous parvenir à travers ce filtre très sélecteur qu'est notre atmosphère ; s'il veut voir plus de détails il est donc forcé d'augmenter le diamètre de son objectif. Une vie d'amateur se passe parfois à conquérir étape par étape cette puissance ; nous verrons plus loin pourquoi il faut se limiter.

Si l'on considère la répartition de l'énergie lumineuse dans la tache de diffraction, on voit qu'au centre l'intensité est très grande, qu'elle s'abaisse vite et s'annule pour l'anneau noir de rayon  $\rho$  que nous venons de calculer, mais qu'au delà l'interférence n'est plus totale : il apparaît des anneaux faiblement lumineux qui deviennent rapidement insensibles. Avec une étoile pas trop brillante, on voit juste le premier et un peu le second. Il est important de se familiariser avec ce *faux disque* entouré d'anneaux que présentent les étoiles examinées avec un grossissement très fort et un objectif parfait. On a un bon critère de mise au point exacte en cherchant à rendre le premier anneau noir aussi obscur que possible ; on ne peut y parvenir qu'avec un bon objectif, bien entendu.

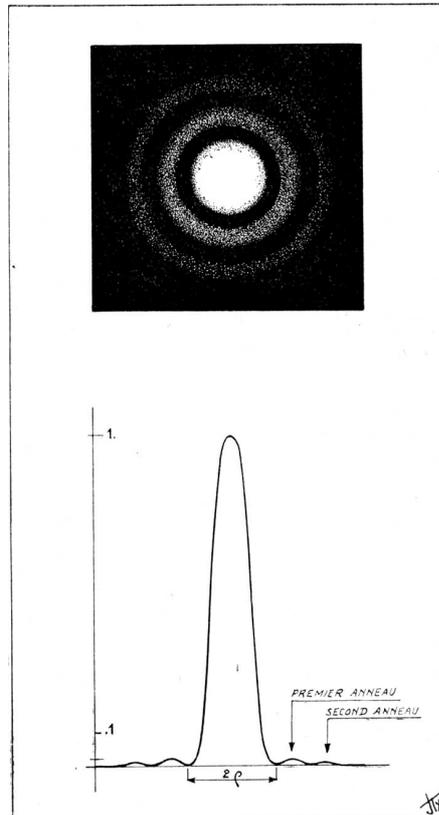


Fig. 5. – Distribution de la lumière  
Dans la tache de diffraction

Point n'est besoin de matériel coûteux pour observer cette apparence théorique : plaçons devant une ampoule électrique à filament visible un écran en carton mince percé d'un petit trou obtenu par le passage d'une aiguille ou d'une épingle ordinaire de 7 / 10 de millimètre de diamètre, si l'on place l'œil à 1 ou 2 mètres de cette «étoile artificielle » on n'observe pas d'anneaux et de faux disque parce que l'objectif de notre œil est trop grand pour nous fausser sensiblement la réalité dans ces conditions, mais mettons tout contre lui un petit diaphragme obtenu en ne passant cette fois que la moitié de la longueur de la pointe de notre aiguille dans une carte de visite ; si une portion du filament de la lampe est bien derrière le trou-étoile, nous voyons cette fois admirablement l'aspect théorique de la figure 5 et pouvons vérifier en enfonçant plus ou moins l'aiguille dans la carte de visite que le diamètre du faux disque diminue, donc que l'on se rapproche de la réalité, quand le diamètre de l'objectif augmente

**4. Règle de Lord Rayleigh.** - Il est intéressant de fixer la grandeur du défaut matériel de l'objectif qui commence à porter atteinte à la perfection de l'image de diffraction. Lord Rayleigh a trouvé que si l'onde défectueuse réelle fournie par l'objectif ne s'écarte pas de l'onde sphérique idéale de plus d'un quart de la longueur d'onde de la lumière, l'image de diffraction ne subit que de faibles altérations ; le maximum central est réduit à 80 % de sa valeur et le premier minimum n'est plus tout à fait nul.

Comme cette tolérance est souvent adoptée, il est utile de montrer à quoi elle correspond sur le verre :

$$1/4 \text{ de la longueur d'onde des rayons les plus actifs sur l'œil} = \frac{0m56}{4} = 0m14 .$$

S'il s'agit d'un miroir (fig. 6 a) présentant un défaut en creux de profondeur  $\delta$ , on voit que c'est un chemin supplémentaire à parcourir deux fois par les rayons lumineux, l'onde émergente portera donc en ce point un retard total de  $2 \delta$  ; il faut donc que  $d \leq \frac{0m14}{2}$ . Le plus grand défaut que l'on pourra tolérer sera de  $0 \mu 07$  (7 cent millièmes de millimètre).

Par contre s'il s'agit d'une lentille (fig. 6 b) ayant ce défaut en creux, c'est une épaisseur de verre plus faible à traverser pour la lumière, donc une avance sur l'onde émergente qui vaudra :  $\varepsilon = \delta (n - 1)$  ; comme  $n-1$  vaut sensiblement 0,5 avec le verre «crown » ordinaire, si l'on veut que  $\varepsilon$  ne dépasse pas le quart d'onde, on pourra tolérer sur le verre un défaut de  $0 \mu 28$  quatre fois plus grand que dans le cas d'un miroir

On aurait tort de croire qu'un objectif satisfaisant à cette condition soit nécessairement irréprochable. Pour préciser, mentionnons les restrictions suivantes, dont nous tiendrons compte lors du contrôle final :

A. Danjon rappelant <sup>(1)</sup> que c'est le défaut réel qui se présente effectivement quand on observe qui nous intéresse, il faut tenir compte des perturbations atmosphériques qui s'ajoutent aux défauts de l'objectif, leur somme dépassant beaucoup plus fréquemment la limite tolérable, si l'objectif possède déjà des défauts voisins du quart d'onde ; un tel objectif est donc beaucoup plus sensible à

<sup>(1)</sup> Etude interférentielle de la scintillation. Réunion Institut d'optique, 1933, 2<sup>e</sup> réunion.

l'agitation atmosphérique qu'un objectif parfait de même diamètre, ce qui ne présente évidemment d'intérêt que, si c'est la turbulence que l'on étudie.

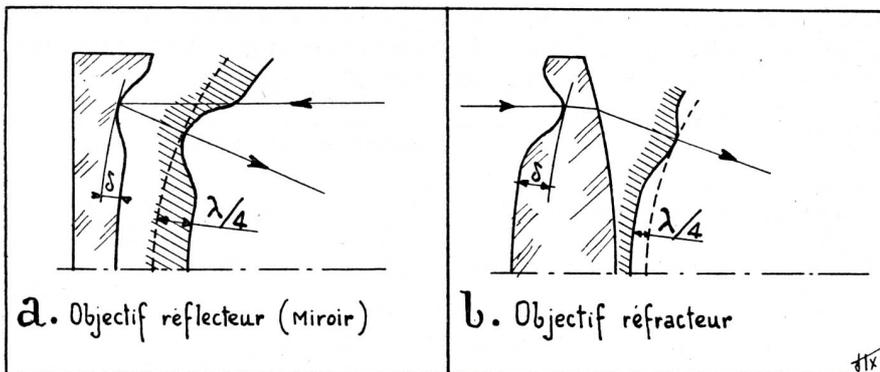


Fig. 6. – Défauts tolérables avec un objectif réfracteur et réflecteur

A. Couder a montré en outre <sup>(1)</sup> que la forme et le nombre des défauts ont une grande importance : par exemple de nombreux petits défauts à pentes abruptes peuvent rejeter hors du faux disque de la tache de diffraction une bonne partie de l'énergie lumineuse, et il a donné dans le *Bulletin de la S.A.F.* un exemple d'une grave altération de ce genre <sup>(2)</sup>. Nous avons eu l'occasion de décrire spécialement ces défauts <sup>(3)</sup>.

Enfin, considérant la visibilité des objets peu contrastés et non pas seulement le cas très favorable d'une étoile, Françon <sup>(4)</sup> a trouvé que pour les plus faibles contrastes perceptibles (qui se rencontrent dans l'observation planétaire) un défaut sur l'onde égal à  $\lambda / 16$  commence à être nuisible, ce qui porte le plus grand défaut tolérable sur un miroir à moins de  $0 \mu 02$ . Le plus difficile d'ailleurs n'est pas de réaliser l'objectif avec cette précision, mais d'obtenir effectivement sur le ciel une onde émergente de cette qualité. Tous les observateurs de planètes connaissent la perte de visibilité de plages faibles dès que l'image n'est plus très bonne.

**5. Description sommaire des principaux types d'instruments astronomiques.** - Les réfracteurs désignés en France sous le nom de lunettes, possèdent un long tube (fig. 7) muni à une extrémité d'un objectif achromatique composé le plus souvent de deux lentilles taillées dans des verres différents qui doivent répondre à des conditions rigoureuses d'homogénéité et d'indice et dont les courbures sont imposées. L'autre extrémité du tube possède un porte-oculaire permettant la mise au point et le changement d'oculaire.

<sup>(1)</sup> « Défauts des instruments réels. » *Cahiers de Physique*, n° 26, déc. 1944. Voir aussi *Lunettes et télescopes*, p. 85 et 521.

<sup>(2)</sup> Sur la construction cellulaire des miroirs de télescopes. *L'A.*, t. 50, 1936, févr., p. 66.

<sup>(3)</sup> *Ciel et Terre*, LXVI<sup>e</sup> année ; n<sup>os</sup> 3-4 ; mars-avril 1950 ; p. 57.

<sup>(4)</sup> Vision dans un instrument entaché d'aberration sphérique. *Cahiers de Physique*, n° 26, déc. 1944. *Revue d'Optique*, t. 26, n° 10, 1947, p. 354.

L'objectif d'un télescope est un miroir concave qui se présente sous la forme d'un disque de verre épais pouvant avoir des défauts internes parce qu'il ne sert que de support, la face polie concave dont la courbure est à peine visible pour un profane (environ 2 millimètres de creux sur un miroir ordinaire de 20 centimètres) est rendue réfléchissante par un dépôt d'argent obtenu par réduction chimique ou par un dépôt d'aluminium évaporé dans le vide (une couche de 1 / 10 de micron est déjà parfaitement opaque).

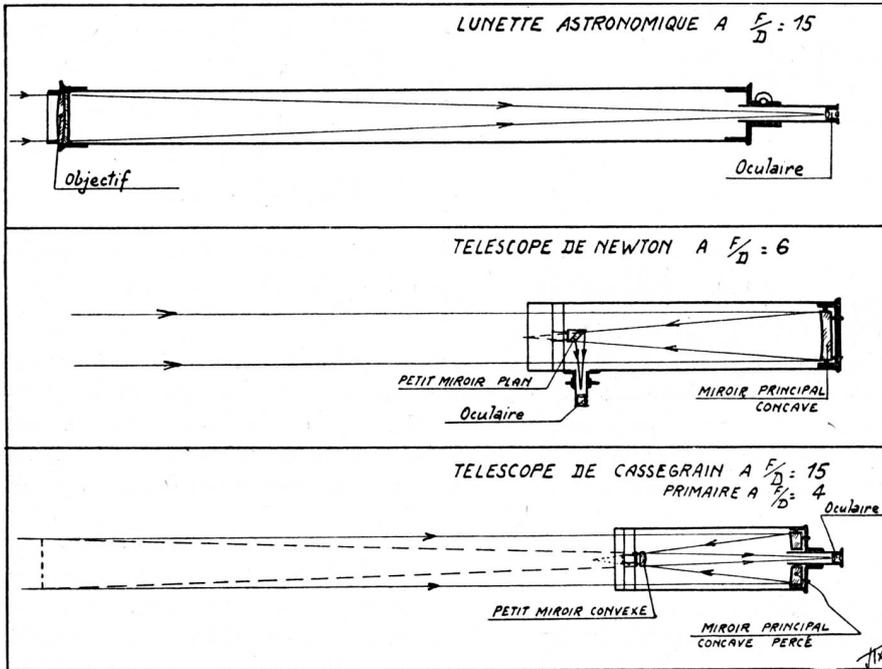


Fig. 7. – Disposition générale et encombrements comparés des principaux types d'instruments de même puissance

Le miroir placé en bas du tube donnerait une image inaccessible dans un petit instrument, puisque l'observateur intercepterait avec sa tête la plus grande partie des rayons incidents ; dans le montage de Newton (fig. 7) on rejette le faisceau hors du tube dans une position commode pour observer ; dans le montage de Cassegrain (fig 7) le grand miroir est percé au milieu d'un trou qui permet le passage du cône de rayons lumineux allongé par interposition d'un petit miroir convexe dans le faisceau principal.

Il n'y a pas d'instrument universel vraiment bien adapté à des travaux très différents ; même l'amateur simplement curieux d'une revue non spécialisée des curiosités du ciel a intérêt à fixer son choix du type, des dimensions, de la monture à adopter en tenant compte :

- 1° du travail plus spécialement envisagé
- 2° de l'emplacement disponible pour observer et des conditions locales
- 3° du budget, de l'outillage, de l'habileté qu'il possède.

**6. Lunette ou télescope.** Cette question a été maintes fois débattue, nous nous bornerons ici à des indications très brèves, mais en prenant en considération des arguments pratiques qui comptent beaucoup dans des réalisations d'amateurs.

Nous avons vu au § 3 que la figure de diffraction ne dépendait que de la longueur d'onde de la lumière et du diamètre de l'objectif ; un objectif réfracteur et un miroir de même diamètre sont donc équivalents quant à la petitesse des détails perceptibles. Comme autre point commun entre la lunette et le télescope, on peut dire que pour des diamètres courants d'une vingtaine de centimètres et pour les radiations actives sur l'œil, la quantité de lumière réfléchie par une combinaison de deux miroirs bien argentés ou aluminés est à peu de chose près la même que celle qui traverse un objectif à deux lentilles,

Voyons maintenant les différences qui peuvent décider de notre choix :

1° *Lunettes* (réfracteurs) généralement préférées en France :

*Avantages* : Calme des images, pas de remous de convection dans le tube fermé en haut par l'objectif.

Stabilité de la longueur focale (mesures micrométriques, photos).

Déformations des lentilles (flexions, dilatations) moins nuisibles aux images que celles d'un miroir.

Possibilité de correction facile de la «coma», ce qui augmente le champ utilisable en photographie.

Simplicité d'emploi, les objectifs peu altérables ne demandent presque aucun entretien. Dans un petit instrument, ils sont souvent centrés une fois pour toutes par le constructeur, mais tout observateur digne de ce nom doit savoir faire le réglage.

*Inconvénients* : Achromatisme imparfait, les radiations de courtes longueurs d'onde surtout (violet) sont étalées dans un objectif visuel très loin du foyer pour les rayons jaunes (fig. 8). L'instrument agit comme un filtre sélecteur jaune. Les tentatives de corrections meilleures difficilement praticables au delà de 20 centimètres d'ouverture comportent d'autres inconvénients (courbures très fortes, adjonction d'une troisième lentille).

Encombrement (fig. 7) : pour rendre le défaut précédent admissible, on est forcé d'adopter une longueur focale de quinze fois environ l'ouverture de l'objectif, à partir de 20 centimètres d'ouverture (tube de 3 mètres de long), cela devient impraticable pour l'amateur.

Réalisation onéreuse : l'objectif est taillé dans des verres d'optique de premier choix qui coûtent très cher si l'on dépasse 15 centimètres de diamètre ; il faut un certain outillage et des pièces de référence de contrôle pour le tailler, malgré la précision quatre fois moins grande des surfaces, c'est un capital trop important pour être risqué par un débutant.

Le prix total de l'instrument est toujours beaucoup plus élevé que celui du télescope équivalent.

2° *Télescopes* (réflecteurs) plus répandus chez les amateurs anglo-américains

*Avantages* : Achromatisme parfait ; les couches d'argent et d'aluminium ont un pouvoir réflecteur élevé et presque constant pour toute l'étendue du spectre visible (fig. 9).

Encombrement réduit (fig. 7), le tube est au moins deux fois plus court que celui d'une lunette de même ouverture, d'où meilleure stabilité de la monture et facilité d'installation et d'observation.

Possibilité de tailler soi-même la pièce maîtresse la plus coûteuse : le miroir, à très peu de frais ; ceci met à la portée de l'amateur moyen des diamètres d'objectifs qui lui seraient absolument inaccessibles autrement (jusqu'à 50 centimètres de diamètre au moins).

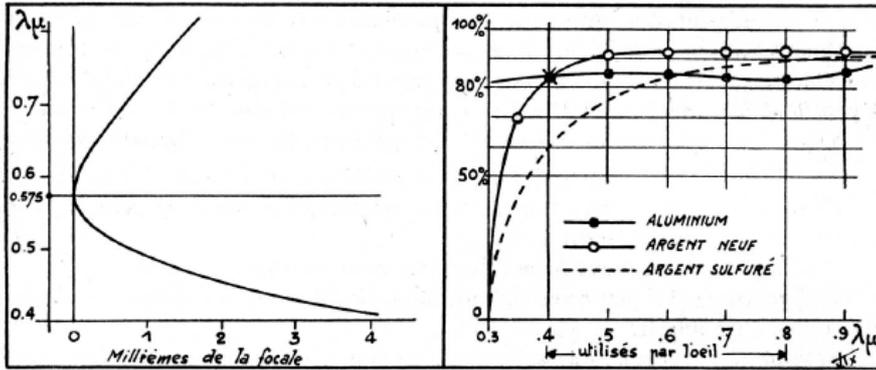


Fig. 8. – Aberration chromatique longitudinale d'un objectif réfracteur

Fig. 9. – Pouvoirs réflecteurs de miroirs aluminés ou argentés

*Inconvénients* : Obstruction par le miroir secondaire ; la perte de lumière est généralement sans importance, mais la figure de diffraction est légèrement altérée ; si le petit miroir a un diamètre égal au quart de celui du grand, le premier anneau de diffraction a son intensité doublée aux dépens de la tache centrale dont le sommet est abaissé de 15 % <sup>(1)</sup>. Cette question est discutée plus en détail au paragraphe 62. Les trois ou quatre lames minces qui supportent le petit miroir causent six ou quatre fines aigrettes autour des étoiles brillantes. C'est un inconvénient non négligeable pour l'observation planétaire surtout, mais qui ne doit pas être exagéré, certains détracteurs de télescopes font confiance à des réflecteurs qui possèdent un résidu d'aberration de sphéricité renforçant bien davantage le premier anneau. On peut d'ailleurs le réduire presque à rien en adoptant un rapport  $f/D = \text{à } 8 \text{ ou } 10$  et en choisissant un miroir plan (en Newton) qui couvre juste le faisceau axial, cela ne présente pas d'inconvénient pour l'observation planétaire ; on peut réduire ainsi à  $1/8$  environ l'obstruction, ce qui rend inutiles les solutions scabreuses des miroirs employés hors de l'axe.

Champ réduit : avec les combinaisons classiques l'image n'est parfaite que sur l'axe, pour l'observation visuelle le champ est toujours suffisant pour ne pas constituer un inconvénient, mais il faut faire attention en photographie.

Oculaires : avec le rapport  $f/D$  égal 6 pour obtenir les forts grossissements, il faut employer des oculaires à très court foyer ; en outre la correction des oculaires simples est insuffisante pour un cône de rayons aussi ouvert ; pour avoir de très

<sup>(1)</sup> Pour plus de détail consulter l'étude de Louis ROY, L'A. t. 45, 1931, p. 424.

bons résultats, il faut acheter de coûteux oculaires orthoscopiques ou des Plössl ; ces deux inconvénients sont levés simultanément par l'adoption de la combinaison Cassegrain, malheureusement plus difficile à construire et déconseillée au débutant.

Agitation des images, le plus grave pour ne pas dire le seul défaut pratique. Les remous de convection dans le tube sont très difficiles à éliminer complètement, il est beaucoup plus difficile d'observer la figure de diffraction théorique sur une étoile qu'avec une lunette de même diamètre et l'observation planétaire également est plus laborieuse parce que les moments utilisables sont moins fréquents. Dans un instrument de 20 centimètres d'ouverture, il est cependant assez facile d'obtenir de bons résultats à condition de ne pas copier les modèles classiques des constructeurs ou les charpentes des télescopes géants. Un remède plus radical, qui se justifie surtout pour un instrument de 25 centimètres ou plus d'ouverture, consiste à fermer le tube hermétiquement par une lame optique à faces planes et parallèles, voir paragraphe 87.

Déformations thermiques et mécaniques du miroir ; le plan focal est légèrement déplacé et introduction d'aberration de sphéricité. Dans un petit instrument l'effet est insensible ; pour fixer les idées disons qu'avec une combinaison Cassegrain de 257 millimètres d'ouverture et 5 500 millimètres de longueur focale, le tour de vis micrométrique en un an n'a pas varié de 1 / 100 de seconde d'arc (la variation diurne est encore plus faible).

Réargenture : En ville, il faut souvent réargenter les miroirs non protégés tous les six mois (fig. 9). Actuellement l'aluminure lève cet ennui puisqu'une bonne couche dure normalement cinq ans et garde son pouvoir réflecteur élevé pendant ce temps.

**7. Conclusion pratique : le télescope standard.** - Pour une revue générale des curiosités du ciel, on se contente le plus souvent d'un petit instrument de moins de 110 millimètres d'ouverture qui doit créer le moins de soucis possibles à son possesseur ; il n'est pas douteux qu'une lunette soit préférable dans ces conditions. Remarquons toutefois que le moindre télescope de 150 millimètres, même approximativement réalisé, est incontestablement supérieur à la lunette de 110 millimètres de l'industrie et coûte bien moins cher.

Un instrument plus puissant est nécessaire pour voir des détails intéressants sur les planètes, suivre de faibles étoiles variables, observer les étoiles doubles un peu serrées, voir convenablement les nébuleuses, etc... , mais une ouverture de 20 centimètres est déjà difficilement praticable pour un particulier avec un réfracteur, celui qui mesure des étoiles doubles lui donnera encore sans doute la préférence (à cause de la vision plus facile du faux disque, et non à cause du changement de foyer du miroir), mais tous les autres choisiront par force un télescope infiniment moins coûteux et plus facile à installer. La facilité relative qu'il y a de tailler soi-même un puissant miroir jusqu'à 50 centimètres de diamètre au moins, constitue même un danger ; il faut bien se dire d'avance que si l'on peut exploiter commodément un miroir de 20 centimètres avec une monture azimutale très simple pesant en tout moins de 20 kilogrammes, un télescope de 50 centimètres ne peut raisonnablement pas, se passer d'une robuste monture équatoriale et représentée au total près d'une tonne de mécanique!

La course au diamètre ne doit pas faire oublier non plus les limitations étroites

à l'encombrement et surtout à la qualité des images que constituent les conditions locales. Il ne faut jamais oublier que, sauf exception, il est impossible d'utiliser convenablement à travers une fenêtre en ville un instrument de plus de 150 millimètres d'ouverture. Sur un balcon ordinaire un télescope de 200 millimètres constitue le maximum pratique, dans un grenier percé d'une grande ouverture à châssis roulant, un télescope de 250 millimètres travaille déjà rarement à plein

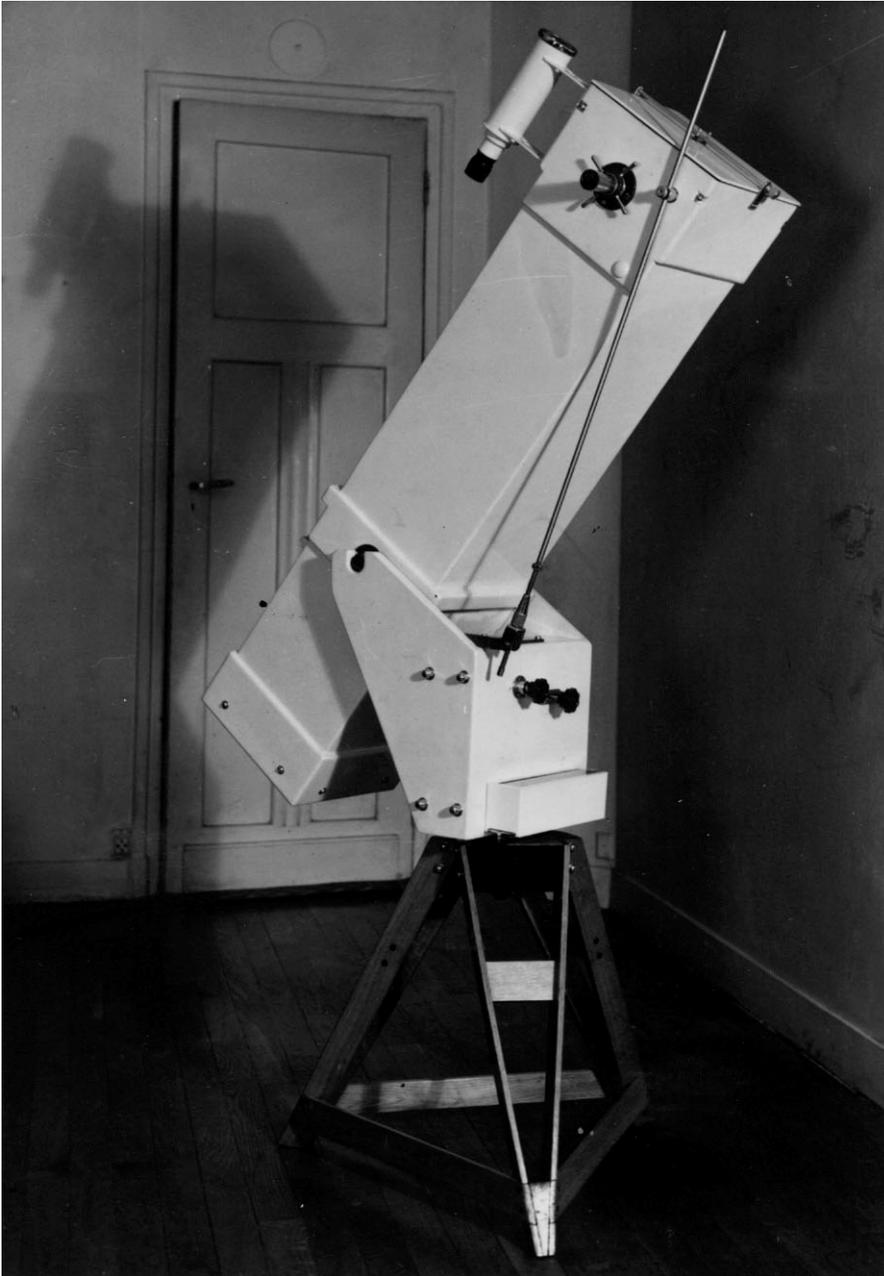


Fig. 10. – Télescope standard de 20 centimètres à  $f/D = 6$ . Le miroir donne une onde correcte à  $\lambda/12$ , les grossissements normaux vont jusqu'à 400 fois.

rendement, pour aller plus loin une large terrasse protégée de la chaleur par des paillasons et assez stable est nécessaire, un large espace bien dégagé de toute construction au milieu d'une pelouse gazonnée est encore bien préférable ; mais alors le problème de l'abri se pose : une coupole légère en zinc n'empêche pas l'instrument de chauffer une construction à double paroi coûte cher, une cabane à toit roulant ne donne pas de remous de trappe, mais la protection contre le vent est un peu moins bonne ;



nous ne pouvons qu'effleurer dans cette première discussion toutes les difficultés qui attendent celui qui veut utiliser convenablement un instrument de plus de 30 centimètres d'ouverture.

Nous avons tout ce qu'il nous faut maintenant pour choisir les caractéristiques essentielles de l'instrument standard d'amateur :

*Ce sera un télescope*, beaucoup plus facile à construire et moins encombrant qu'une lunette à diamètre égal.

*Il sera du type «newton»* : plus facile à réaliser pour un débutant que le modèle de Cassegrain.

*Il aura 20 centimètres d'ouverture*, bon compromis général entre la puissance et les difficultés de réalisation et d'emploi.

*Son ouverture relative  $f/D = 8$  ou  $6$*  suivant que l'on dispose ou non d'un emplacement suffisant.

*Sa monture sera azimutale* et du modèle imaginé par A. Couder parce que c'est le plus facile à réaliser correctement à peu de frais par un non professionnel.

Les chapitres II, III, IV, V se rapportent plus spécialement à ce modèle, mais tout ce qui concerne le travail du verre est applicable presque sans changement aux miroirs de 15 à 30 centimètres de diamètre et constitue en tous cas l'apprentissage indispensable pour entreprendre des travaux plus difficiles décrits chapitres VI, VII, VIII, IX et X.

