1749

Sur la perfection des verres objectfs des lunettes

Leonhard Euler

SUR LA PERFECTION

DES

VERRES OBIECTIFS DES

LUNETTES,

PAR MR. EULER.

I.

Il eſt reconnu parmi les Aſtronomes, que les verres objectifs, dont on ſe ſert ordinairement dans les Lunettes, ont ce défaut, qu'ils produiſent une infinité de foyers, ſelon les differens degrés de refrangibilité des rayons. Les rayons rouges, comme ils ſouffrent la plus petite réfraction en paſſant par le verre, forment leur foyer à une plus grande diſtance du verre, que les rayons violets, dont la réfraction eſt la plus grande. De là vient, que ſi la lumiere, qui paſſe par le verre objectif, eſt compoſée de pluſieurs ſortes de rayons, ce n'eſt plus dans un point que les rayons rompus ſe raſſemblent, comme on ſuppoſe communément dans l'Optique; mais le foyer ſera étendu par quelque eſpace, qui ſera d'autant plus conſidérable, plus le foyer ſera eloigné du verre objectif.

Fig. 1. II. Pour faire ſentir mieux ce défaut des verres optiques, ſoit MN un tel verre quelconque convexe de part & d'autre, & qu'on nomme le rayon de l'arc MAN $= f$, & celui de l'arc MBN $= g$. Soit

Soit de plus $\zeta : \eta$ la raison de réfraction des rayons, qui passent de l'air dans le verre, & posant la distance de l'objet E*e* au verre, EA $= a$, la distance du foyer F, ou du lieu, où se forme l'image F*f* de l'objet E*e*, au verre, c. à. d. la distance BF est trouvée par la theorie de la réfraction $= \frac{\eta a f g}{(\zeta - \eta)\, a\,(f + g) - \eta f g}$. Ensuite, si l'on nomme la hauteur de l'objet E*e* $= e$, la hauteur de l'image, qui sera renversée, se trouvera F*f* $= \frac{\eta e f g}{(\zeta - \eta)\, a\,(f + g) - \eta f g}$: puisqu'il y aura F*f*: BF = E*e*: AE. D'où l'on voit que la grandeur de l'image F*f* varie dans la meme raison, que la distance BF.

IIII. Divisons le numerateur & le dénominateur par $\eta f g$, & la distance du foyer sera

$$BF = \frac{a}{\left(\frac{\zeta}{\eta} - 1\right) a \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) - 1}$$

& cette distance sera constante, tant que la raison de réfraction $\frac{\zeta}{\eta}$ demeurera la même: mais si une partie des rayons suit une autre raison que celle-ci, leur foyer tombera dans un autre point. Pour trouver cette difference, soit F*f* l'image de l'objet formée par les rayons d'une nature moyenne, *R r* l'image formée par les rayons rouges, & V*v* celle des rayons violets. Cela posé, la formule que je viens de donner, nous fournira la distance BF en supposant $\frac{\zeta}{\eta} = \frac{31}{20}$. Or la distance BR se trouvera en supposant $\frac{\zeta}{\eta} = \frac{77}{50}$, & la distance BV en supposant $\frac{\zeta}{\eta} = \frac{78}{50}$.

IV. Nous aurons donc pour les rayons rouges, les moyens & les violets, ces differentes distances de foyers

Pour les rayons rouges $BR = \dfrac{a}{\frac{27}{50}\, a\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) - 1}$

Pour les rayons moyens $BF = \dfrac{a}{\frac{11}{20}\, a\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) - 1}$

Pour les rayons violets $BV = \dfrac{a}{\frac{28}{50}\, a\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) - 1}$

Que l'objet Ee ſoit comme infiniment éloigné ou $a = \infty$, pour faire l'application aux obſervations aſtronomiques, & on aura

Pour les rayons rouges $BR = \dfrac{50}{27}\dfrac{fg}{(f+g)}$

Pour les rayons moyens $BF = \dfrac{20}{11}\dfrac{fg}{(f+g)}$

Pour les rayons violets $BV = \dfrac{50}{28}\dfrac{fg}{(f+g)}$.

V. Donc la diſtance BR ſera à la diſtance BV comme 28 à 27; & partant l'eſpace VR, par lequel tous les foyers des differents rayons feront diſperſés, eſt la vingt-ſeptieme partie de la diſtance entiere BV. Par conſequent pour un verre, qui a ſon foyer à 27 pieds de diſtance, les images formées par les differens rayons rempliront un eſpace d'un pied: d'où il s'enſuit néceſſairement, que ſi le verre oculaire repreſente une de ces images diſtinctement, les autres doivent cauſer une d'autant plus grande confuſion, plus elles feront éloignées du foyer de l'oculaire, ou plutot, plus cet éloignement ſera conſidérable par rapport à la diſtance du foyer de l'oculaire, c. à. d. plus l'oculaire ſera petit. De là on comprend aiſément combien grande doit etre la confuſion, ſi l'on ſe ſert des objectiſs de 100 & pluſieurs pieds, & on ne ſera plus ſurpris, que de ſi longues lunettes n'ont pas produit l'effet, dont on s'eſt attendu.

VI. Outre

VI. Outre la confusion de la représentation, qui est inévitable dans ces sortes de verres optiques, il n'y a aucun doute que cette dispersion du foyer par un espace considérable, ne soit une des principales raisons, qu'on ne peut pas joindre à un objectif, dont la distance du foyer est assés grande, un oculaire aussi petit qu'on voudroit, pour en rendre l'augmentation de l'objet d'autant plus grande. Car si l'image que l'oculaire doit représenter, est diffuse par un espace considérable, on voit bien qu'un fort petit oculaire est tout à fait incapable d'en exciter dans l'œil une sensation perceptible, & il est bien seur, que sans cet inconvenient, on pourroit avec bien du succés emploier des oculaires beaucoup plus petits, qui grosſiroient l'image considerablement davantage.

VII. Puisque la diffusion du foyer causée par la diverse refrangibilité des rayons, dépend uniquement, comme nous venons de voir, de la distance de ce foyer; il est imposſible d'y apporter aucun remede par le rapport, qu'on pourroit mettre entre les rayons f & g des deux faces du verre. Tous les verres, soit qu'ils soient convexes des deux cotés, ou menisces, seront également assujettis à cet inconvenient: & pourvû que la quantité $\frac{1}{f} + \frac{1}{g}$ ou $\frac{fg}{f+g}$ ait la meme valeur, de laquelle dépend la distance du foyer, la diffusion sera la même. Et partant plus les lunettes seront longues, plus on s'appercevra de ce defaut: ce qui a porté feu Mr. Newton d'abandonner les verres objectifs, & d'introduire à leur place ses miroirs concaves, dont on se sert à present avec tant d'avantage.

VIII. Mais je dois remarquer ici en passant une circonstance importante, que ma formule renferme. C'est que si $\frac{1}{f} + \frac{1}{g} = o$ ou $g = -f$, la distance BF $= \dfrac{a}{\left(\frac{\zeta}{\eta} - 1\right)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) - 1}$ devient invariable, quelque changement que subisse la raison de la

 refra-

réfraction $\frac{\zeta}{\eta}$. Il eſt bien vrai, que dans ce cas on aura B F $= -a$ & que l'image F f tombe ſur l'objet E e, de ſorte qu'un tel verre ne produiroit aucun effet, & les rayons qui paſſeroient par ce verre ne
Fig. 2. ſouffriroient aucune réfraction. Cependant puiſque $g = -f$, un tel verre ſera un meniſque M A M N B N, dont la concavité N B N a le meme rayon, que la convexité M A M.

IX. Quoiqu'un tel verre, puiſqu'il transmet les rayons ſans aucune réfraction, ne ſoit d'aucun uſage dans la Dioptrique, il en peut apporter un aſſés grand dans la Catoptrique. Car couvrant la ſurface convexe d'un fond convenable pour en rendre un miroir concave, les rayons qui tomberont ſur ce miroir ſelon la direction de l'axe F A, quoiqu'ils paſſent par le verre, n'en ſouffriront aucune alteration par rapport à leur diverſe réfrangibilité, mais ils repréſenteront l'image dans le foyer F auſſi diſtinctement, que s'ils avoient été réflechis d'un miroir de metal. On trouve cette meme remarque deja dans les Transactions d'Angleterre de ces dernieres années. Mais il ſemble qu'on ne ſe ſoit pas donné aſſés de peine pour mettre cette ſorte de miroirs en uſage, qui ſeroient ſans doute fort préferables à ceux qu'on fait de metal.

X. Mr. Newton a déjà remarqué qu'il s'en faut beaucoup que les miroirs de metal réflechiſſent à proportion autant de rayons, que les verres en transmettent; deſorte que de ce coté-ci les verres retiennent une auſſi grande prérogative, que les miroirs l'emportent ſur eux à l'egard de la diverſe réfrangibilité des rayons: d'où il eſt aiſé de prévoir, que s'il étoit poſſible de délivrer les verres de ce defaut, leur uſage ſurpaſſeroit bien loin celui des miroirs; & on pourroit eſperer de faire à leur aide des decouvertes beaucoup plus importantes. On voit bien qu'on tomberoit dans une pareille perte de rayons, ſi l'on vouloit emploier des objectifs colorés, qui ne transmettroient d'autres rayons que ceux de leur couleur: car la perte de tous les autres rayons deviendroit trop conſiderable, pour qu'on pût ſe contenter du reſte.

XI. C'eſt

XI. C'eſt donc d'une ſource tout à fait differente, que je tacherai de puiſer la perfection des verres objectifs. Mr. Newton a déjà ſoupçonné que des objectifs compoſés de deux verres, dont l'eſpace entre deux fut rempli d'eau, pourroient ſervir à perfectionner les lunettes par rapport à l'aberration des rayons, qu'ils ſouffrent à cauſe de la figure ſpherique des verres. Mais il ne paroit pas, qu'il eût l'idée, que par ce meme moyen il ſeroit poſſible de rétrecir l'eſpace par lequel les foyers des divers rayons ſe trouvent diſperſés. Or il m'a d'abord paru trés probable, qu'une certaine combinaiſon de quelques differens corps tranſparens pourroit être capable de remedier à cet inconvenient; & je ſuis perſuadé, que dans nos yeux les diverſes humeurs s'y trouvent arrangées en ſorte qu'il n'en réſulte aucune diffuſion du foyer. C'eſt à mon avis un ſujet tout nouveau d'admirer la ſtructure de l'oeil; car s'il n'avoit été queſtion que de repréſenter les images des objets, un ſeul corps tranſparent y auroit été ſuffiſant, pourvu qu'il ait eu la figure convenable; mais pour rendre cet organe tout accompli, il y faloit emploier pluſieurs differens corps tranſparens, leur donner la juſte figure & les joindre ſelon les regles de la plus ſublime Geometrie, pour que la diverſe réfrangibilité des rayons ne troublat point les repréſentations.

XII. Puisque donc les rayons, qui entrent dans l'oeil, y ſouffrent quatre réfractions, j'en conclus qu'il doit être poſſible d'arranger tellement quatre ſurfaces refringentes, que les foyers de toutes ſortes de rayons conviennent dans un ſeul point, à quelque diſtance que ſe trouve l'objet. Donc pour trouver cet arrangement, je m'en vai conſiderer en general quatre ſurfaces refringentes MAM, NBN, ODO, PCP, qui ſoient ſpheriques ayant leurs centres dans la meme ligne droite EI, qui tiendra lieu de l'axe. Fig. 3. Je les ſuppoſerai dabord toutes convexes vers l'objet E, & je nommerai les rayons de MAM $= f$, de NBN $= g$, de OCO $= h$, & de PDP $= k$. Soient outre cela leurs diſtances AB $= b$, B $= c$ & CD $= d$: & de plus la raiſon de réfraction des rayons, qui paſſent par la premiere MAM $= \frac{\zeta}{\eta}$,

de

de ceux qui passent par la seconde N B N $= \frac{\eta}{\theta}$, par la troisieme O C O $= \frac{\theta}{\kappa}$, par la quatrieme P D P $= \frac{\kappa}{\lambda}$.

XIII. Nous avons donc ici à considérer cinq milieux transparens E A, A B, B C, C D & D I, que je suppose tellement differens entr'eux, que des rayons qui passent du premier E A dans le second A B, le sinus d'incidence soit au sinus de réfraction comme ζ à η; le sinus d'incidence au sinus de réfraction des rayons, qui passent du second AB dans le troisieme BC comme η à θ: le sinus d'incidence au sinus de réfraction des rayons, qui passent du troisieme B C dans le quatrieme C D comme θ à κ; & enfin le sinus d'incidence au sinus de réfraction des rayons qui passent du quatrieme C D dans le cinquieme D I comme κ à λ. J'ai choisi exprés ces expressions des loix de réfractions, afinqu'on en puisse d'abord tirer la raison de la réfraction, lorsque les rayons passeroient d'un de ces milieux dans un autre quelconque: ainsi si les rayons passoient immediatement du premier milieu E A dans le quatrieme CD, le sinus d'incidence seroit au sinus de réfraction comme ζ à κ: de sorte que ces lettres ζ, κ θ, κ, λ peuvent êtres regardées, comme si elles exprimoient les pouvoirs réfractifs des milieux EA, AB, BC, CD & D I.

XIV. Soit maintenant E e l'objet, dont les rayons passent par ces cinq milieux differens, & soit F f l'image de cet objet formée par les rayons aprés la premiere refraction, G g l'image formée aprés la seconde réfraction, H h celle, que formept les rayons aprés la troisieme réfraction, & enfin I i l'image, que les rayons representent aprés avoir souffert toutes les quatre réfractions. Pour trouver l'endroit & la grandeur de ces images, on fait que la premiere F f tient lieu de l'objet dans la formaton de la seconde G g, & celle-ci doit être regardée comme l'objet pour trouver la troisieme H h, qui tiendra encore lieu de l'objet pour la derniere I i. D'où l'on voit, que quoiqu'il ne s'agisse que de déterminer la derniere image I i, on est pourtant obligé de chercher toutes les precedentes.

Pour

XV. Pour trouver la premiere image Ff, qui eſt renverſée dans la figure, nommant la diſtance de l'objet Ee à la premiere ſurface réfringente MAM c. à. d. $EA = a$, on tire des régles de la Dioptrique

$$AF = \frac{\zeta a f}{(\zeta - \eta)\, a - \eta f} \;\&\; Ff = \frac{\eta}{\zeta} \cdot \frac{AF}{EA} \cdot Ee$$

Soit à preſent $FB = b - \frac{\zeta a f}{(\zeta - \eta)\, a - \eta f} = v$, & v ſera la diſtance de l'objet Ff à la ſeconde ſurface NBN, dont la raiſon de réfraction étant $\eta : \theta$ on aura par les memes régles

$$BG = \frac{\eta v g}{(\eta - \theta)\, v - \theta g} \;\&\; Gg = \frac{\theta}{\eta} \cdot \frac{BG}{FB} \cdot Ff$$

Soit $GC = c - \frac{\eta v g}{(\eta - \theta)\, v - \theta g} = x$ & on trouvera

$$CH = \frac{\theta x h}{(\theta - \varkappa)\, x - \varkappa h} \;\&\; Hh = \frac{\varkappa}{\theta} \cdot \frac{CH}{GC} \cdot Gg$$

Enfin mettant $HD = d - \frac{\theta x h}{(\theta - \varkappa)\, x - \varkappa h} = y$, on obtiendra

$$DI = \frac{\varkappa y k}{(\varkappa - \lambda)\, y - \lambda k} \;\&\; Ii = \frac{\lambda}{\varkappa} \cdot \frac{DI}{HD} \cdot Hh$$

Cette derniere image ſera donc debout, ſi la valeur trouvée $\frac{\lambda}{\varkappa} \cdot \frac{DI}{HD} \cdot Hh$ ſe trouvera poſitive, mais en cas qu'elle devienne negative, ce ſera une marque que l'image eſt renverſée.

XVI. On voit bien que ces dernieres expreſſions trouvées pour DI & Ii deviendroient extremement compliquées, ſi l'on vouloit remettre ſucceſſivement pour y, x & v leurs valeurs. Mais puiſque je borne mes recherches à trouver des corps réfringens propres à etre emploiés dans les lunettes, l'épaiſſeur AD peut etre regardée ſi petite

tite, qu'elle ſera comme rien par rapport aux autres quantités qui entrent dans nos formules. Je ſuppoſerai donc $b = o$, $c = o$ & $d = o$, & j'aurai

$$FB = v = -AF;\ BG = \frac{\eta g.\ AF}{(\eta-\theta)\,AF+\theta g};\ Gg = -\frac{\theta}{\eta}.\frac{BG}{AF}.Ff$$

$$GC = x = -BG;\ CH = \frac{\theta h.\ BG}{(\theta-\varkappa)\,BG+\varkappa h};\ Hh = -\frac{\varkappa}{\theta}.\frac{CH}{BG}.Gg$$

$$HD = y = -CH;\ DI = \frac{\varkappa k.\ CH}{(\varkappa-\lambda)\,CH+\lambda k};\ Ii = -\frac{\lambda}{\varkappa}.\frac{DI}{CH}.Hh$$

D'où nous tirerons d'abord $Ii = -\frac{\lambda}{\eta}.\ \frac{DI}{AF}.\ Ff$, & puiſque $Ff = \frac{\eta}{\zeta}.\ \frac{AF}{EA}.\ Ee$, il ſera $Ii = -\frac{\lambda}{\zeta}.\ \frac{DI}{EA}.\ Ee$.
Et partant l'image Ii ſera renverſée, pourvû qu'elle tombe derriére la derniere ſurface PDP.

XVII. Remettons ſucceſſivement les valeurs de AF, BG & CH, & puiſque $AF = \frac{\zeta a f}{(\zeta-\eta)\,a-\eta f}$, nous aurons

$$BG = \frac{\zeta\eta a f g}{\zeta(\eta-\theta)\,af+\theta(\zeta-\eta)\,ag-\eta\theta f g}$$

$$CH = \frac{\zeta\eta\theta a f g h}{\zeta\eta(\theta-\varkappa)\,afg+\zeta\varkappa(\eta-\theta)\,afh+\theta\varkappa(\zeta-\eta)\,agh-\eta\theta\varkappa fgh}$$

$$DI = \frac{\zeta\eta\theta\varkappa a f g h k}{\zeta\eta\theta(\varkappa-\lambda)\,afgh+\zeta\eta\lambda(\theta-\varkappa)\,afgk+\zeta\varkappa\lambda(\eta-\theta)\,afhk+\theta\varkappa\lambda(\zeta-\eta)\,aghk-\eta\theta\varkappa\lambda fghk}$$

ou bien

$$DI = \frac{\zeta\eta\theta\varkappa a f g h k}{\zeta\eta\theta\varkappa afgh+\zeta\eta\theta\lambda afg(k-h)+\zeta\eta\varkappa\lambda afk(h-g)+\zeta\theta\varkappa\lambda ahk(g-f)-\eta\theta\varkappa\lambda ghk(a+f)}$$

Fig. 4. XVIII. Pour approcher davantage de mon deſſein : Soit MPPM notre objectif compoſé de deux verres MM NN & OO PP, entre leſquels l'eſpace NN OO ſoit rempli d'eau. L'objet Ee ſe trouve

ſe trouve dans l'air, de meme que l'image I i, que je repreſente à l'envers. Donc puisque le premier milieu E A & le dernier D I ſont de meme nature, il y aura $\lambda = \zeta$, & puisque le ſecond A B & le quatrieme C D ſont de verre, il y aura $\varkappa = \eta$. D'où notre formule trouvée ſe changera en celle-cy :

$$DI = \frac{\eta\,\theta\,a\,f\,g\,h\,k}{\zeta\eta\,\iota fk(h-g) + \zeta\theta a(fgk - fgh + ghk - fhk) + \eta\theta gh(af - ak - fk)}$$

Diviſons le numerateur & le dénominateur par $\eta\,\theta\,f\,g\,h\,k$ pour obtenir

$$DI = \frac{a}{\frac{\zeta}{\theta}a\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) + \frac{\zeta}{\eta}a\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{k} + \frac{1}{f} - \frac{1}{g}\right) + \left(\frac{a}{k} - \frac{a}{f} - 1\right)}$$

& puisque I $i = \frac{DI}{a}$. E e, nous aurons

$$Ii = \frac{Ee}{\frac{\zeta}{\theta}a\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) + \frac{\zeta}{\eta}a\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g} + \frac{1}{h} - \frac{1}{k}\right) + \left(\frac{a}{k} - \frac{a}{f} - 1\right)}$$

XIX. Dans ces formules il n'y a que les deux fractions $\frac{\zeta}{\eta}$ & $\frac{\zeta}{\theta}$, qui dépendent de la loi de réfraction ; la premiere $\frac{\zeta}{\eta}$ exprimant la raiſon de réfraction de l'air dans le verre, & l'autre $\frac{\zeta}{\theta}$ celle de l'air dans l'eau : Donc ſi les réfractions ſont variables, il n'y aura que ces deux fractions qui en ſubiſſent quelque changement. Suppoſons la raiſon de réfraction de l'air dans le verre $\frac{\zeta}{\eta} = m$ & celle de l'air dans l'eau $\frac{\zeta}{\theta} = n$, pour avoir

 DI =

$$DI = \frac{a}{na\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+ma\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)-a\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{f}-\frac{1}{k}\right)}$$

$$\& Ii = \frac{Ee}{na\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+ma\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)-a\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{f}-\frac{1}{k}\right)}$$

ou bien en divisant par a en haut & en bas.

$$DI = \frac{1}{n\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+m\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)-\frac{1}{a}-\frac{1}{f}+\frac{1}{k}}$$

$$Ii = \frac{Ee:a}{n\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+m\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)-\frac{1}{a}-\frac{1}{f}+\frac{1}{k}}$$

XX. Que m soit ici la raison de réfraction de l'air dans le verre des rayons moyens, & n celle de l'air dans l'eau aussi des rayons moyens, de sorte que $m = \frac{31}{20}$ & $n = \frac{4}{3}$. Mais pour les rayons rouges soit la raison de réfraction de l'air dans le verre $= M$, & de l'air dans l'eau $= N$; or pour les rayons violets soient ces raisons μ & ν. Et il est clair que la diverse réfrangibilité des rayons ne changera rien, ni dans le lieu de l'image, ni dans sa grandeur, s'il étoit possible de déterminer les rayons des quatres surfaces spheriques f, g, b, k en sorte qu'il y eut :

$$n\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+m\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)=N\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+M\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)$$

$$=\nu\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+\mu\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)$$

ou bien :

$$(n-N)\left(\frac{1}{g}-\frac{1}{h}\right)+(m-M)\left(\frac{1}{f}-\frac{1}{g}+\frac{1}{h}-\frac{1}{k}\right)=0$$

& $(\nu-n)$

$$\& \ (\nu - n)\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) + (\mu - m)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g} + \frac{1}{h} - \frac{1}{k}\right) = 0$$

XX. Mais puisque nous ſuppoſons que les rayons, pour lesquels nous avons poſé les raiſons de réfraction m & n ſont d'une nature préciſement moyenne entre les rouges & les violets, il y aura $n - N = \nu - n$ & $m - M = \mu - m$; & partant il ſuffira pour mon deſſein de ſatisfaire à cette ſeule équation :

$$(n - N)\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) + (m - M)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g} + \frac{1}{h} - \frac{1}{k}\right) = 0$$

Il ne reſte donc plus pour parvenir à mon but, que de déterminer generalement la raiſon de réfraction des rayons rouges, en ſachant celle des rayons moyens, ou bien de trouver, quelles fonctions ſeront les quantités M & N de celles-cy m & n, que je ſuppoſe données.

XXII. Il y a pluſieurs circonſtances, qui déterminent le rapport entre les quantités m & M, de meme qu'entre n & N. Or d'abord il eſt evident que N doit etre une fonction toute ſemblable de n, que M eſt de m. En ſecond lieu, il eſt clair que ſi $m = 1$, il faut qu'il ſoit également $M = 1$, puisque dans ce cas les deux milieux deviennent égaux, de ſorte qu'il n'y aura point de réfraction. Troiſiémement, il faut remarquer, que ſi au lieu de m on met $\frac{1}{m}$, la fonction M doit ſe changer en $\frac{1}{M}$; car ce cas eſt pour le retour des rayons du ſecond milieu dans le premier, qui ſe fait dans le meme chemin, que le paſſage du premier dans le ſecond. Et enfin ſi pour m on mettoit mn, la valeur de M doit devenir $= MN$: d'où il s'enſuit en géneral que ſi l'on poſe $n = m^{\alpha}$, il ſera $N = M^{\alpha}$. Donc connoiſſant m, M & n, on trouvera $\alpha = \frac{l\,n}{l\,m}$ & de là $N = M^{\alpha}$.

 XXIII. Puis-

XXIII. Puisque donc dans notre cas nous avons $m = \frac{31}{20}$, $n = \frac{4}{3}$ & $M = \frac{77}{50}$, nous trouverons $\alpha = \frac{l\,n}{l\,m} = \frac{1249387}{1903317}$ $= 0,656426$, & enfin $N = M^{\alpha} = 1,32768$. De là il sera $m - M$ $= 0,01000$, & $n - N = 0,00565$, d'où nous obtiendrons cette équation $566\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) + 1000\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g} + \frac{1}{h} - \frac{1}{k}\right) = 0$, qui se reduit à celle-ci

$$1000\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right) = 435\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right)$$

Donc notre dénominateur commun de DI & Ii étant $n\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) + m\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{g} + \frac{1}{h} - \frac{1}{k}\right) - \frac{1}{a} - \frac{1}{f} + \frac{1}{k}$ ou $(m-1)\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right) - (m-n)\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) - \frac{1}{a}$, il se changera en $0,5500\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right) - 0,2167\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) - \frac{1}{a}$ & à cause de

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{k} = 0,435\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right)$$

il deviendra $= 0,02258\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) - \frac{1}{a}$

XXIV. Voici donc un objectif M P P M composé de deux menisques de verre M N N M & O P P O, entre lesquelles l'espace N O O N est rempli d'eau, qui rassemblera tous les rayons, de quelque degré de réfrangibilité qu'ils soyent, qui viennent de l'objet E e, dans la même image I i. Pour construire cet objectif, en posant les rayons des quatre surfaces spheriques M A M, N B N, O C O, P D P $= f, g, h,$ & k, on n'aura qu'à les prendre ensorte, qu'il soit: $\frac{1}{f}$

$$\frac{1}{f} - \frac{1}{k} = 0,435 \left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right)$$

& alors nommant la diftance de l'objet E e à cet objectif, E A $= a$, la diftance de l'image renverfée formée apres l'objectif fera

$$D\,I = \frac{a}{0,02258\, a\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) - 1}$$

& la quantité de cette image fera

$$I\,i = \frac{E\,e}{0,02258\, a\left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) - 1}$$

XXV. Pour rendre la détermination des rayons des quatre fphericités plus aifée, fuppofons

$$0,02258 \left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) = \alpha \left(\frac{1}{g} - \frac{1}{h}\right) = \frac{1}{r}$$

& on aura:

$$\frac{0,02258}{0,435} \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right) = \beta \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right) = \frac{1}{r}$$

Qu'on prenne $\frac{1}{g} = \frac{n + 1 : 2\alpha}{r}$, $\frac{1}{h} = \frac{n - 1 : 2\alpha}{r}$

& $\frac{1}{f} = \frac{m + 1 : 2\beta}{r}$, $\frac{1}{k} = \frac{m - 1 : 2\beta}{r}$

Or ayant $\frac{1}{2\alpha} = 22,1435$ & $\frac{1}{2\beta} = 9,6324$

en prenant pour m & n à volonté des nombres quelconques, on fera

$$f = \frac{r}{m + 9,6324}$$

$$g = \frac{r}{n + 22,1435}$$

$h =$

$$h = \frac{r}{n - 22,1435}$$

$$k = \frac{r}{m - 9,6324}$$

& on aura:

$$\mathrm{D\,I} = \frac{ar}{a - r} \;\&\; \mathrm{I}\,i = \frac{r.\,\mathrm{E}e}{a - r}$$

Donc ſi l'objet eſt ſuppoſé etre éloigné à l'infini, la diſtance D I deviendra $= r$, de ſorte que r exprime la diſtance du foyer de notre objectif.

XXVI. Puisqu'on peut prendre pour m & n des nombres à volonté, les formules trouvées nous fourniront une infinité d'objectifs, qui auront la même diſtance de foyer r, & qui ſeront délivrés tous de la diffuſion du foyer, à laquelle les objectifs ordinaires ſont aſſujettis. Le cas le plus ſimple paroit réſulter, ſi l'on met $m = 9,6324$ & $n = 22,1435$. Car alors les deux dernieres faces O O & P P deviendront planes, ou le verre O P P O ſera plan de ſes deux cotés. Mais l'autre verre M N N M reſtera un menisque, dont le rayon de la convexité M A M doit etre

$$f = \frac{r}{19,2648} = \frac{15}{289}\,r$$

& celui de la concavité N B N

$$g = \frac{r}{44,2870} = \frac{7}{310}\,r$$

Ou ſi l'on met la diſtance du foyer $r = 10000$, il y aura $f = 519,08$
Fig. 5. & $g = 225,80$. La forme de cet objectif eſt repreſentée dans la figure 5.

XXVII. Suppoſons $m = 0$ & $n = 0$, & que la diſtance du foyer demeure $r = 10000$, & il ſera

$f = 1038,16$; $g = 451,60$; $h = -451,60$; $k = -1038,16$ où les deux dernieres faces deviendront concaves vers l'objet, & l'objectif ſera compoſé de deux menisques egaux, & ſemblables à

celui

celui qui a été trouvé dans le §. précedent. La fig. 6 represente la forme cet objectif. Ici il est trés remarquable, que quoiqu'on demande un objectif, dont la distance du foyer soit fort grande, les rayons des sphericités deviennent trés mediocres; comme si dans ce dernier cas on vouloit que la distance du foyer fût de 100 pieds, les rayons des sphericités ne seront que de $10\frac{1}{3}$ & $4\frac{1}{2}$ pieds, par où il semble que l'execution de ces objectifs doit etre beaucoup plus aisée que des ordinaires. Fig. 6.

XXVIII. On voit que dans ce dernier cas, si l'on met au lieu du menisque O P P O un verre plat de deux cotés, on obtiendra un objectif, dont la distance du foyer sera $= 20000$, ou double de la premiere. Tout revient donc dans ces deux cas à la proportion entre les rayons f & g, qui doit etre comme 1038, 16 à 451, 60: de sorte que $f = \frac{103816}{45160} g$, & alors la distance du foyer sera $= \frac{100000}{4516} g$. Comme pour les Ouvriers il sera souvent à propos de donner la raison entre f & g dans les plus petits nombres entiers, qui approchent autant qu'il est possible de la veritable raison, je joindrai ici les valeurs de f & g exprimées dant les plus petits nombres entiers.

k ou $f =$	5,	7,	9,	16,	23,	39,	62,	85,	108,	131,	154,	177,	200
h ou $g =$	2,	3,	4,	7,	10,	17,	27,	37,	47,	57,	67,	77,	87
Dist. du foyer $=$	44,	66,	89,	155,	221,	376,	598,	819,	1041,	1262,	1485,	1705,	1926

Si ces nombres sont pris pour marquer des pouces, les derniers donneront un objectif de 1926 pouces de foyer, s'il est convexe de deux cotés; mais si on le fait plan d'un coté, la distance du foyer deviendra double $= 3853$ ou de 321 pieds.

XXIX. Je dois encore remarquer, qu'il n'est pas absolument nécessaire de se tenir trop soigneusement à la proportion qui a été trouvée, & qu'on s'en peut ecarter un peu, sans que la diffusion devienne considerable. On s'en asseurera aisément par le calcul d'un exemple: car soit $f = 9$, $g = 4$, $b = \infty$ & $k = \infty$, qui

 sont

ſont des valeurs, qui different encore notablement des vrayes; & ſi la diſtance de l'objet a eſt infinie, on trouvera la diſtance du foyer des rayons moyens

$$D\,I = \frac{36}{9\,n - 5\,m - 4} = 144$$

& la diſtance du foyer des rayons rouges

$$D\,I = \frac{36}{9\,N - 5\,M - 4} = 144,\ 578$$

Donc ſi ces nombres marquent des pouces, la diſtance entre les foyers rouges & violets ſera $= 1,\ 156$ pouces, pendant que dans un objectif ordinaire de 144 pouces de foyer cette diſtance ſeroit $= 5,\ 23$, ou presque cinq fois plus grande. Or en general ſi $b = \infty$, & $k = \infty$ & qu'on mette la diſtance du foyer $r = \frac{fg}{nf - m(f-g) - g}$ $= \frac{fg}{0,\ 5500\,g - 0,\ 2144\,f}$ la diſtance entre les foyers rouges & violets ſe trouvera $= \frac{2\,r\,r}{fg}\,(0,\ 00565\,f - 0,\ 01000\,(f-g))$ $= \frac{2\,r\,r}{fg}\,(0,\ 01000\,g - 0,\ 00435\,f)$.

XXX. La proportion que je viens de trouver entre les rayons f & g, dépend des loix de réfraction de l'air dans le verre, & de l'air dans l'eau, dont j'ai ſuppoſé celle-là $m = \frac{31}{20}$, & celle-ci $n = \frac{4}{3}$, pour les rayons moyens. Donc s'il arrivoit, que ces valeurs ne fuſſent pas trop juſtes, la proportion trouvée entre f & g demanderoit quelque changement. C'eſt pourquoi, afin que mes determinations ne ſoyent pas attachées à ces hypotheſes de m & de n, je m'en vais rendre la ſolution plus génerale. Or pour faciliter le calcul, je ſuppoſerai d'abord $b = \infty$ & $k = \infty$, puiſque de ce cas on tire aiſément celui où $b = -g$ & $k = -f$, & la diſtance du foyer devient la moitié de la precedente. Donc ſi l'on met auſſi la

diſtance

diſtance de l'objet $a = \infty$, nous aurons la diſtance du foyer des rayons moyens

$$DI = \frac{1}{\frac{n}{g} + \frac{m}{f} - \frac{m}{g} - \frac{1}{f}} = \frac{fg}{(m-1)\,g - (m-n)\,f}$$

& cette diſtance ſe reduira à la moitié, ſi au lieu de $b = \infty$ & $k = \infty$ on met $b = -g$ & $k = -f$.

XXXI. Soit maintenant M la raiſon de réfraction de l'air dans le verre pour les rayons d'une autre nature quelconque, & N la raiſon de réfraction de l'air dans l'eau pour les mêmes rayons: & la diſtance du foyer de ces rayons ſera $DI = \frac{fg}{(M-1)\,g - (M-N)\,f.}$ Donc pour que ce foyer tombe dans le precedent, il faut qu'il ſoit $(M-1)\,g - (M-N)\,f = (m-1)\,g - (m-n)\,f$, ou bien

$$(N-n)\,f = (M-m)\,(f-g).$$

Or nous avons vu, que ſi $n = m^{\alpha}$, il doit y avoir $N = M^{\alpha}$, ou puisque $\alpha = \frac{l\,n}{l\,m}$ on aura $N = M^{l\,n : l\,m}$ ou $l\,N = \frac{l\,n}{l\,m}\,l\,M$: c. à. d. $l\,m : l\,n = l\,M : l\,N$.

XXXII. Puisque nous ſavons que les differences entre M & m de même qu'entre N & n ſont trés petites, il ſera permis de mettre $M = m + d\,m$ & $N = n + d\,n$ & cette ſuppoſition donnera $l\,m : l\,n = l\,(m + d\,m) : l\,(n + d\,n)$. Or il y a $l\,(m + d\,m) = l\,m + \frac{d\,m}{m}$ & $l\,(n + d\,n) = l\,n + \frac{d\,n}{n}$, de ſorte que $\frac{d\,m}{m}\,l\,n = \frac{d\,n}{n}\,l\,m$ ou $d\,n = \frac{n\,l\,n}{m\,l\,m}\,d\,m$. Donc puisqu'il doit etre $f\,d\,n = (f-g)\,d\,m$, on aura

$$f : f - g = m\,l\,m : n\,l\,n.$$

$$\&\ f : g = m\,l\,m : m\,l\,m - n\,l\,n.$$

Et mettant cette proportion entre f & g, la diſtance du foyer de

 tous

tous les rayons ſera pour les objectifs plano-convexes $DI = \frac{fg}{(m-1)g-(m-n)f}$.

XXXII. Tout revient donc à l'invention des valeurs $m\,l\,m$ & $n\,l\,n$, en donnant aux lettres m & n des valeurs convenables, deſorte que ſi l'on met $m = \frac{31}{20} = 1,55$ & $n = 1,3333$ on trouvera les ſolutions précedentes. Or puiſque ces valeurs ne ſont pas peut-etre juſtes à la derniere rigueur, & afin qu'on puiſſe mieux faire l'application de ces formules, auſſi en cas qu'on voulut employer d'autres matieres tranſparentes, qui ont d'autres loix de réfraction; je joindrai ici une table qui exprime les valeurs de la formule $x\,l\,x$, en donnant à x toutes les valeurs intermediaires entre 2,00 & 1,00: de laquelle il ſera aiſé de trouver les valeurs de $m\,l\,m$ & $n\,l\,n$, en donnant à m & n des valeurs quelconques compriſes entre 1 & 2.

x	x l x	x	x l x	x	x l x	x	x l x
1, 00	0,000000	1, 25	0,121138	1,50	0,264137	1,75	0,425316
	4365		5330		6119		6748
1, 01	0,004365	1, 26	0,126468	1,51	0,270256	1,76	0,432100
	4407		5364		6148		6810
1, 02	0,008772	1, 27	0,131832	1,52	0,276404	1,77	0,438910
	4450		5398		6175		6835
1, 03	0,013222	1, 28	0,137230	1,53	0,282579	1,78	0,445745
	4493		5432		6204		6860
1, 04	0,017715	1, 29	0,142662	1,54	0,288783	1,79	0,452605
	4534		5464		6231		6885
1, 05	0,022249	1, 30	0,148126	1,55	0,295014	1,80	0,459490
	4575		5497		6259		6909
1, 06	0,026824	1, 31	0,153623	1,56	0,301273	1,81	0,466399
	4617		5531		6288		6932
1, 07	0,031441	1, 32	0,159154	1,57	0,307561	1,82	0,673331
	4657		5565		6316		6956
1, 08	0,036098	1, 33	0,164719	1,58	0,313877	1,83	0,480287
	4697		5599		6344		6979
1, 09	0,040795	1, 34	0,170318	1,59	0,320221	1,84	0,487266
	4737		5632		6371		7002
1, 10	0,045532	1, 35	0,175950	1,60	0,326592	1,85	0,494268
	4777		5663		6398		7026
1, 11	0,050309	1, 36	0,181613	1,61	0,332990	1,86	0,501294
	4815		5695		6425		7049
1, 12	0,055124	1, 37	0,187308	1,62	0,339415	1,87	0,508343
	4854		5726		6451		7073
1, 13	0,059978	1, 38	0,193034	1,63	0,345866	1,88	0,515416
	4893		5757		6478		7096
1, 14	0,064871	1, 39	0,198791	1,64	0,352344	1,89	0,522512
	4931		5788		6504		7120
1, 15	0,069802	1, 40	0,204579	1,65	0,358848	1,90	0,529632
	4969		5820		6530		7143
1, 16	0,074771	1, 41	0,210399	1,66	0,365378	1,91	0,536775
	5006		5850		6557		7165
1, 17	0,079777	1, 42	0,216249	1,67	0,371935	1,92	0,543940
	5044		5881		6583		7187
1, 18	0,084821	1, 43	0,222130	1,68	0,378518	1,93	0,551127
	5080		5912		6610		7209
1, 19	0,089901	1, 44	0,228042	1,69	0,385128	1,94	0,558336
	5116		5942		6637		7231
1, 20	0,095017	1, 45	0,233984	1,70	0,391765	1,95	0,565567
	5153		5971		6662		7254
1, 21	0,100170	1, 46	0,239955	1,71	0,398427	1,96	0,572821
	5189		6001		6686		7277
1, 22	0,105359	1, 47	0,245956	1,72	0,405113	1,97	0,580098
	5224		6031		6710		7299
1, 23	0,110583	1, 48	0,251987	1,73	0,411823	1,98	0,587397
	5260		6060		6734		7321
1, 24	0,115843	1, 49	0,258047	1,74	0,418557	1,99	0,594718
	5295		6090		6759		7342
1, 25	0,121138	1, 50	0,264137	1,75	0,425316	2,00	0,602060

XXXIII. Cette Table servira donc à trouver d'abord le rapport entre les rayons des courbures f & g, quelle que soit la loi de réfraction de l'air dans les deux milieux, dont on veut composer l'objectif: & cette proportion entre f & g sera propre, tant pour les objectifs plans d'un coté, que pour ceux qui sont composés de deux pieces semblables. La raison moyenne de réfraction de l'air dans le verre semble assés exactement établie comme 31 à 20, desorte que $m = 1,55$ & $m\,l\,m = 0,295014$. Pour la réfraction de l'air dans l'eau, Mr. Newton a aussi trouvé cette valeur $n = \frac{529}{396} = 1,3358$, d'où l'on tire par interpolation $n\,l\,n = 0,167955$, & partant on aura $f : g = 295014 : 127059$, dont les raisons les plus approchantes sont en moindres nombres

$$\frac{f}{g} = \frac{5}{2},\ \frac{7}{3},\ \frac{9}{4},\ \frac{16}{7},\ \frac{23}{10},\ \frac{30}{13},\ \frac{37}{16},\ \frac{44}{19},\ \frac{51}{22},\ \frac{58}{25},\ \frac{65}{28},\ \frac{72}{31},\ \frac{137}{59}$$

d'où l'on voit que la raison 10 : 23 pourra etre employée aussi bien dans cette hypothese que dans la precedente. Donc si $f = \frac{23}{10} g$, nous aurons pour les objectifs plano-convexes la distance du foyer $= \frac{23}{0,5734} g = 40\frac{1}{9} g$ & pour les convexes elle sera $= 20\frac{1}{18} g$.

XXXIV. On pourra bien négliger cette petite fraction $\frac{1}{18}$, desorte que la distance du foyer devienne $= 20\,g$ pour les objectifs convexo-convexes; & réciproquement la distance du foyer étant donneé $= c$, on en trouvera aisément le rayon des deux convexités f, & le rayon des deux concavités g; car il y aura $g = \frac{c}{20}$ & $f = \frac{23}{200} c$, d'où j'ai formé la Table suivante, qui exprime ces rayons f & g pour chaque distance de foyer donnée en pouces, où je suppose le pouce divisé en 100 parties égales.

Table

Table des Objectifs convexo-convexes Fig 6. la diſtance du foyer étant donnée.

Diſtance du Foyer en Pouces	Rayon des Convexites MAM, PDP	Rayon des Concavites NBN, NCN	Diſtance du Foyer en Pouces	Rayon des Convexités MAM, PDP	Rayon des Concavites NBN, NCN
1	0, 11½	0, 05	50	5, 75	2, 50
2	0, 23	0, 10	55	6, 31½	2, 75
3	0, 34½	0, 15	60	6, 90	3, 00
4	0, 46	0, 20	65	7, 47½	3, 25
5	0, 57½	0, 25	70	8, 05	3, 50
6	0, 69	0, 30	75	8, 62½	3, 75
7	0, 80½	0, 35	80	9, 20	4, 00
8	0, 92	0, 40	85	9, 77½	4, 25
9	1, 03½	0, 45	90	10, 35	4, 50
10	1, 15	0, 50	95	10, 92½	4, 75
11	1, 26½	0, 55	100	11, 50	5, 00
12	1, 38	0, 60	110	12, 65	5, 50
13	1, 49½	0, 65	120	13, 80	6, 00
14	1, 61	0, 70	130	14, 95	6, 50
15	1, 72½	0, 75	140	16, 10	7, 00
16	1, 84	0, 80	150	17, 25	7, 50
17	1, 95½	0, 85	160	18, 40	8, 00
18	2, 07	0, 90	170	19, 55	8, 50
19	2, 18½	0, 95	180	20, 70	9, 00
20	2, 30	1, 00	190	21, 85	9, 50
22	2, 53	1, 10	200	23, 00	10, 00
24	2, 76	1, 20	220	25, 30	11, 00
26	2, 99	1, 30	240	27, 60	12, 00
28	3, 22	1, 40	260	29, 90	13, 00
30	3, 45	1, 50	280	32, 20	14, 00
35	4, 02½	1, 75	300	34, 50	15, 00
40	4, 60	2, 00	350	46, 00	17, 50
45	5, 17½	2, 25	400	51, 75	20, 00

XXXV. En employant ces objectifs au lieu des ordinaires, le premier & le principal avantage qu'on en tirera, sera, que tous les objets en seront representés beaucoup plus distinctement; puisque toutes les images formées par les rayons de quelque degré de réfrangibilité qu'ils soient, se rëunissent dans une seule, de sorte que toute la confusion, à laquelles les lunettes ordinaires sont assujetties, doit evanouïr tout à fait. En second lieu, ces objectifs pourront etre travaillés avec moins de peine que les ordinaires, puisque les rayons des courbures sont beaucoup plus petits. Car pour former un objectif ordinaire de 400 pouces de foyer, il faut que le rayon de ses deux convexités soit à peu prés de 400 pouces; au lieu que pour un objectif de notre façon de la meme distance de foyer, on n'a besoin que de deux courbures, dont les rayons sont de $51\frac{3}{4}$ & de 20 pouces. Outre cèla, quand on joint un tel menisque avec un verre plan des deux cotés on aura un objectif, dont la distance du foyer sera de 800 pouces.

XXXVI. Mais le plus grand avantage de ces nouveaux objectifs consistera en ce qu'on les pourra combiner avec de beaucoup plus petits oculaires, & par ce moyen on obtiendra une multiplication si grande qui surpasse bien loin celle dont les plus grandes lunettes ordinaires sont capables. C'est de ce point que dépend le principal avantage des tubes Newtoniens & Gregoriens, dans lesquels on est en état de combiner avec un miroir de plusieurs pieds un oculaire d'une ou de deux lignes. De là je conclus, que si un objectif, dont je viens de donner la description, sera bien executé, on y pourra joindre des aussi petits oculaires, qui seront capables de produire une augmentation de la grandeur apparente de l'objet, plus de mille fois plus grande; car notre objectif de 200 pouces, étant joint à un oculaire d' $\frac{1}{10}$ pouce augmentera les objets deux mille fois. Ici je suppose, qu'il n'y ait la moindre diffusion dans le foyer de l'objectif, & que l'image y soit si nette que celle d'un miroir de metal; mais quand meme la figure des verres ne feroit pas executée à la derniere rigueur, & que meme tous les foyers des differens rayons ne tomberoient pas dans un seul point, la diffusion sera pourtant toujours beaucoup plus petite qu'à l'ordinaire, & par conséquent on y pourra emploier des oculaires asses petits, pour produire une augmentation considérablement plus grande.

OBSER-