DISSERTATION
SUR
LES MOYENS
DE DONNER LA PLUS GRANDE PERFECTION POSSIBLE
AUX LUNETTES
DONT LES OBJECTIFS SONT COMPOSÉS DE DEUX MATIERES,

QUI A REMPORTÉ LE PRIX

PROPOSÉ

PAR

L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

ET

BELLES-LETTRES

POUR L'ANNÉE MDCCLXXI, ADJUGÉ EN MDCCLXXII.

PAR M. HENNERT,
Professeur en Mathématiques &c. à Utrecht, Membre de la Société des Sciences de Harlem &c.

A BERLIN,
CHEZ CHRÉTIEN FRÉDERIC VOSS.
MDCCLXXIII.

AVERTISSEMENT.

L'Académie n'ayant point reçu de Piece, ſur la queſtion d'Optique propoſée en 1771, à laquelle elle pût adjuger le Prix, l'avoit propoſée de nouveau pour l'année ſuivante; & la Piece qu'elle fait ici imprimer eſt la ſeule qui ait concouru. Diverſes bonnes vues & expériences que l'Académie y a trouvées l'ont déterminée à décerner le Prix à l'Auteur, & à l'inviter de lui communiquer les expériences qu'il promet de continuer rélativement à cet objet. Mais en même tems l'Académie croit devoir répéter qu'en adjugeant ses Prix, elle n'entend point adopter toutes les propositions renfermées dans les Pieces couronnées.

DISSER-

DISSERTATION

SUR

LES DIMENSIONS DES OBJECTIFS

COMPOSÉS DE DEUX MATIERES,

TELLES QUE

LE VERRE COMMUN ET LE CRYSTAL D'ANGLETERRE,

les plus propres à détruire entiérement, ou au moins ſenſiblement, les aberrations de réfrangibilité & de ſphéricité, tant pour les objets placés dans l'axe que pour ceux qui ſont hors de l'axe;

ET SUR

LE NOMBRE ET L'ARRANGEMENT DES OCULAIRES

qu'il faudroit adapter à de tels objectifs pour avoir les lunettes les plus parfaites qu'il eſt poſſible.

PIECE QUI A REMPORTÉ LE PRIX.

SYMBOLUM.

Os homini sublime dedit, cœlumque videre jussit.

LA perfection des lunettes tiendra toujours un rang distingué parmi les travaux par lesquels l'*Académie Royale de Prusse* s'est signalée. Elle fixe une époque mémorable, à l'exemple des grandes révolutions qui partagent le cours des tems. Pendant les siecles où l'ignorance & la barbarie ne pourront porter atteinte aux sciences physiques, ni aux travaux de l'incomparable *Euler*, l'année 1747 sera célébrée par les Astronomes & les Curieux, comme une période marquée de la plus importante découverte. Ce fut alors que le grand *Euler* commença la révolution dans la Dioptrique, qu'il franchit les difficultés que *Newton* avoit opposées aux progrès de l'Optique, & que les Anglois croyoient insurmontables. Cependant les Anglois, après avoir noblement défendu la gloire de *Newton*, devoient enfin se rendre aux efforts victorieux du héros des Géometres. Généreux comme ils le sont, ils avouerent leur défaite, & loin d'en être abattus, il leur sembloit avoir fait une conquête; ils s'allierent sur le champ avec le vainqueur pour travailler de concert à étendre les limites d'une science que l'Angleterre a vu naître & se former sous *Newton*. *Dollond*, jaloux de l'émule de *Newton*, voulut en quelque façon partager la gloire entre la *Prusse* & l'*Angleterre*. Habile & savant Artiste, il trouva des moyens plus propres à mettre en pratique l'invention de l'Académicien de Berlin. Bientôt l'on gagna du terrein. François, Suédois, Russes, Italiens se joignirent aux Euler & aux Dollond pour faire cause commune. Les *Clairaut*, *d'Alembert*, *Klinkenstierna*, *la Grange* & tant d'autres entrerent en lice. Mr. *Euler*, qui auroit pu se reposer sur ses lauriers, se ſentoit de plus en plus animé à pouſſer ſa conquête. Il a enrichi les Académies de *Berlin* & de *Pétersbourg* des plus excellens Mémoires. Il vient enfin d'achever la *Dioptrique*, Ouvrage où la ſpéculation paroit être épuiſée. Un illuſtre Seigneur, Mr. le Comte *de Redern*, digne Curateur de l'Académie, ne dédaigna pas de ſeconder M. *Euler*; il embraſſa le parti avec le zele & avec l'amour pour les ſciences qui lui ſont particuliers. Le ſavant Mécene a développé avec préciſion les principes de la nouvelle Dioptrique & a fait tailler des verres propres à faire des expériences déciſives. Ses Mémoires méritent l'attention des Géometres & des Artiſtes. J'aurai dans la ſuite occaſion de parler des recherches de Mr. *Beguelin* ſur les lunettes acromatiques.

Après tant de ſuccès qui couronnent la découverte due à l'Académie Royale, il eſt plus glorieux encore pour cette Illuſtre Compagnie, qu'elle s'expoſe aujourd'hui, pour ainſi dire, aux yeux du Public. Peu fiere des hommages que l'Europe ſavante lui a rendus, elle veut s'aſſurer davantage ſur les progrès que la Dioptrique a faits & pourra faire encore ſous ſes auſpices.

La queſtion propoſée, pour la ſeconde fois, par l'*Académie de Pruſſe*, roule tant ſur les objectifs acromatiques, compoſés de deux matieres, telles que le *Flintglaß* & le *Crownglaß*, que ſur l'arrangement des oculaires pour avoir les lunettes les plus parfaites qu'il eſt poſſible. Le ſujet propoſé fournit matiere à quatre recherches principales. Premierement, il s'agit de détailler les qualités de bonnes lunettes de toute eſpece; 2) de déterminer les dimenſions des objectifs compoſés, délivrés, du moins ſenſiblement, de toute aberration, tant pour les objets placés dans l'axe, 3) que pour ceux hors de l'axe; 4) enfin d'indiquer le meilleur arrangement des oculaires. Voilà les quatre chefs qui font le partage de ma Diſſertation, conformément au programme de l'Académie. Je ne crois pas cependant faire une digreſſion inutile en indiquant, dans un cinquieme Article, le choix qu'il faudra faire des objectifs & des oculaires pour conſtruire des lunettes deſtinées à certains uſages. Pour cet effet, j'établirai d'abord différentes eſpeces de lunettes, en ſorte qu'on aura autant de lunettes parfaites, qu'il y a de cas différens où l'on s'en ſert.

PREMIER ARTICLE.

Des qualités des bonnes lunettes.

§. 1. Les Opticiens requierent quatre qualités pour de bonnes lunettes.

1) Une lunette doit conſidérablement groſſir les objets, eu égard à ſa longueur.

2) Elle doit repréſenter les objets avec aſſez de clarté.

3) Et avec toute la netteté & diſtinction poſſible.

4) Enfin elle doit découvrir un champ aſſez étendu.

Excepté la clarté & la représentation nette, les deux autres qualités des lunettes souffrent des modifications selon l'usage auquel on les destine. Les Opticiens, ce me semble, n'ont pas assez fait attention aux différens usages des lunettes, les ayant presque toutes considérées sur le même pié. Aussi ont-ils poussé d'un côté, trop loin les recherches; ils ont plutôt cherché à amuser les Curieux, qu'à seconder les Astronomes. Je vais donc établir différentes especes de lunettes, conformant chaque espece à son usage particulier. Je ferai voir qu'il faudra à chaque espece de lunette un objectif déterminé, accompagné d'un certain nombre d'oculaires. Sans ces recherches, je pense que la question proposée ne pourra être entiérement développée; parce qu'il est dit expressément dans le programme de l'Académie, qu'il faut déterminer les dimensions des objectifs & l'arrangement des oculaires pour avoir *les lunettes les plus parfaites qu'il est possible*. Or si l'on ne peut faire d'une lunette le même usage que d'une autre, il s'ensuit qu'une lunette sera parfaite à un certain égard, & défectueuse dans un autre cas. En sorte qu'il en sera des lunettes comme des remedes universels; une lunette parfaite à tous égards est une chimere aussi bien que le remede qui guérit tous les maux.

§. 2. L'on peut généralement diviser les lunettes en astronomiques & en terrestres. Il faut donc nécessairement distinguer les lunettes astronomiques, conformément aux différentes observations que les Astronomes ont accoutumé de faire.

1) La premiere classe des observations astronomiques peut comprendre les observations des attouchemens des astres, savoir les Eclipses de Lune, de Soleil, des étoiles, des satellites de Jupiter, les passages de Vénus & de Mercure par le Soleil.

2) Je rapporte à la seconde classe, les observations où l'on emploie le Micrometre pour déterminer les diametres apparens des planetes, les distances de la Lune aux étoiles.

3) Je range sous la troisieme classe, les observations où l'on se sert du Micrometre pour déterminer les ascensions & les déclinaisons des astres, par leurs appulses aux fils.

4) La quatrieme classe renferme les lunettes adaptées aux quarts de cercle & aux secteurs, pour mesurer les hauteurs des astres ou leurs distances au Zénith.

5) Enfin je distingue les lunettes de spéculation, avec lesquelles on envisage les globes des planetes.

§. 3. Je soutiens qu'il faut choisir pour chaque genre d'observations une lunette convenable. Pour saisir avec précision le moment des attouchemens, il faut se ſervir d'une lunette qui repréſente les objets avec toute la clarté & la netteté poſſible; mais elle peut médiocrement groſſir & découvrir un petit champ. En effet, pourvu que l'œil embraſſe les bords des deux aſtres, dont la diſtance eſt très petite vers le tems du contact, & qu'il voie les bords nettement terminés, l'obſervation ſe fera exactement. Il paroit donc que le groſſiſſement & la grandeur du champ ne doivent pas contrebalancer la netteté & la clarté de la repréſentation de l'objet. Les Aſtronomes s'accordent à employer des lunettes de dix-huit pieds pour les Eclipſes de Jupiter. Ils en emploient de plus courtes de ſix à huit pieds pour les Eclipſes de Lune, & ils adaptent de plus grands oculaires aux tubes pour obſerver les Eclipſes de Soleil. Une lunette ordinaire de 18 pieds groſſit environ 80 fois les objets. Or nous ferons voir qu'on peut conſtruire une excellente lunette acromatique de trois à quatre pieds, pour les obſervations de la premiere claſſe. A plus forte raiſon aura-t-on moins de difficulté à compoſer une lunette acromatique propre à obſerver les Eclipſes de Lune & de Soleil.

§. 4. Mr. *de la Lande* ayant meſuré le diametre du Soleil avec une lunette de dix-huit pieds, la plus longue qu'on ait employée pour ce deſſein, a trouvé le diametre plus petit de quelques ſecondes, qu'on ne l'a établi par des lunettes plus courtes. Or une lunette ordinaire de 18 pieds n'eſt pas propre à cet uſage. Elle embraſſe à peine un champ de 35 minutes; ce qui rend l'obſervation très pénible, l'Aſtronome étant obligé de changer ſouvent la ſituation de la lunette pour prendre la diſtance des bords du Soleil. Pour faire de pareilles obſervations avec préciſion, il faut 1) que les bords du Soleil paroiſſent bien terminés par la lunette; car une petite aberration de couleurs peut produire une incertitude de quelques ſecondes. 2) Il faut que le champ de la lunette ſoit à peu près d'un degré. 3) La lunette ne doit pas être plus longue que de huit pieds, pour pouvoir la manier plus commodément en pourſuivant le Soleil. 4) Il faut qu'elle groſſiſſe 80 à 100 fois.

§. 5. Quant à la troiſieme claſſe des obſervations, elles peuvent très bien ſe faire avec une lunette ordinaire de ſix à ſept pieds. On n'aura qu'à adapter des lunettes ordinaires aux quarts de cercle, parce que l'on gagneroit fort peu par l'échange.

§. 6. Mais la derniere claſſe des obſervations aſtronomiques exige des lunettes qui réuniſſent toutes les qualités dans le plus haut degré. Pour faire des découvertes ſur les ſurfaces d'objets ſi éloignés, il faudra les groſſir conſidérablement, & pouvoir les enviſager diſtinctement. Ces lunettes doivent auſſi tranſmettre à l'œil une aſſez grande quantité de lumiere, ſurtout pour *Jupiter* & *Saturne*. Une plus petite quantité de lumiere eſt requiſe pour découvrir les pays inconnus de notre ſatellite.

§. 7. Je passe aux lunettes terrestres, dont je distingue trois sortes. La premiere sorte servira à discerner les objets assez éloignés, la seconde à voir distinctement les objets très proches; celle-ci comprend les *lunettes de poche* ou *d'opéra*. Enfin il y a des lunettes qui nous découvrent les objets pendant la nuit; ce sont celles qu'on appelle *œil de chat*. Toutes ces lunettes doivent être de moins de trois pieds & demi, parce qu'on les manie sans support.

§. 8. Il suffit que les lunettes terrestres de la premiere espece grossissent tout au plus quatre vingt-fois. L'on discerne très bien par une telle lunette les tours des villes à une distance de 8 à 9 lieues, comme je l'ai souvent remarqué. La lumiere du jour fournit beaucoup de clarté. D'ailleurs il n'est pas nécessaire que ces lunettes représentent les objets avec autant de netteté que les astronomiques. Mais il est à propos de leur procurer un champ d'un ou même de deux degrés, pour embrasser d'un coup d'œil une assez grande étendue.

§. 9. Pour les lunettes d'opéra, il faut qu'elles représentent les objets à peu près de la même grandeur dont une bonne vue les apperçoit. Je donnerai dans la suite la construction d'une lunette acromatique de poche.

§. 10. L'on peut se passer d'appliquer l'objectif acromatique à l'œil de chat. Cet instrument doit avoir une ouverture considérable pour recueillir une abondante lumiere. Il peut être de la longueur de deux à trois pieds. On peut composer un bon œil de chat, d'un objectif de deux pieds, & d'un oculaire de quatre pouces. L'ouverture de l'objectif pourra être de trois pouces & même de trois & demi. Il grossira cinq à six fois. Le champ sera de $4\frac{3}{4}$ degrés, donnant deux pouces d'ouverture à l'oculaire. *

§. 11. Après avoir établi les différentes especes des lunettes, je passe à l'examen des qualités d'un bon instrument dioptrique. Il n'y a pas de difficulté sur le grossissement des lunettes. Soient AA, BB, CC, DD &c. des verres convexes. Fig. 1.
Leurs foyers conjugués $NF = Q$, $\alpha R = \alpha$, $\beta r = \beta$, $\gamma \varrho = \gamma$ &c. Les distances de ces foyers aux lentilles qui suivent immédiatement, savoir $F\alpha = a$, $r\gamma = b$, $\varrho\delta = c$, &c. L'on sait que le grossissement linéaire s'exprime par la quantité $\frac{\alpha\beta\gamma}{abc}$, que nous appellerons M. La représentation sera alternativement renversée & droite, savoir renversée par deux verres convexes, droite par trois verres,

*) Les Capres Anglois se sont servis avec avantage des yeux de chat dans la derniere guerre. Ils servent aux Astronomes à découvrir les Cometes.

ainsi de suite selon l'ordre des verres. Si l'un des verres est concave, ou qu'un des foyers conjugués devienne négatif, la représentation des objets change en sens contraire selon l'ordre du verre.

§. 12. Quoique les Opticiens conviennent qu'il faut délivrer les objectifs des aberrations de sphéricité & de réfrangibilité, pour rendre distincte la représentation des objets, ils ne sont pas d'accord sur ce point, laquelle des deux aberrations nuit le plus à la vue distincte. Pour terminer ce différend, de la décision duquel dépend la perfection des lunettes, il me semble qu'il faut l'envisager tant du côté physique que du côté géométrique. Afin de bien poser l'état de la question, considérons deux objectifs, l'un dégagé de l'aberration de sphéricité, mais chargé de celle de réfrangibilité; l'autre débarrassé de l'aberration de réfrangibilité, mais non de celle de sphéricité. Supposons que les deux objectifs produisent une même quantité d'aberration latérale, p. ex. d'une ligne; il s'agiroit de savoir, si les sensations produites par une ligne d'aberration de sphéricité & de réfrangibilité seroient de la même force, c'est à dire, si la vue en seroit également affectée? Les trouve-t on de la même force, il faudroit alors détruire les deux aberrations selon les recherches les plus rigoureuses des Géometres. Si la vue n'en étoit pas également troublée, il s'agiroit, dans ce cas, de fixer les limites de l'aberration la plus foible au-delà desquelles elle deviendroit insoutenable. Il ne seroit pas alors nécessaire d'anéantir la moindre des deux aberrations, mais il suffiroit de la diminuer selon le rapport trouvé par expérience. C'est sous ce point de vue que j'ai envisagé, dans l'article suivant, l'effet des deux aberrations, ayant remarqué que les Opticiens se sont trop livrés à la spéculation sur ce sujet.

§. 13. Le *champ* ou l'étendue de l'objet apperçue, se nomme visible ou apparent. Le champ visible s'estime par l'angle sous lequel l'œil, appliqué à l'oculaire, embrasse l'objet grossi. L'on mesure le champ apparent par l'angle visuel de l'œil nud.

Si l'on nomme donc le champ visuel $= \phi$, & le grossissement $= M$, le champ apparent sera $= \phi : M = \psi$. Soit $x =$ à la demi-ouverture du verre BB. L'objet PQ forme le champ apparent $PQ : QN = a\alpha : N\alpha =$ Fig. 2.
$x : N\alpha = \psi$. Il est donc clair que l'œil, placé au foyer conjugué m du point N, embrasse le champ entier; par conséquent l'œil verra le champ apparent, grossi, ou le champ visuel, sous l'angle $\phi = am\alpha = x : m\alpha$. J'appellerai dans la suite, *distance de l'œil*, celle où l'œil doit être placé derriere le dernier oculaire pour envisager le champ entier. Rapportons les demi-ouvertures des oculaires à leurs distances focales. Soit $R =$ à la distance focale de l'oculaire BB, & $x = \pi R$. Il y aura donc $N\alpha = \frac{\pi R}{\psi}$; mais $\frac{1}{\alpha m} = \frac{1}{R} - \frac{1}{N\alpha} = \frac{1}{R} - \frac{\psi}{\pi R}$; or $\phi =$

$M\psi =$

$M\psi = \frac{\pi R}{\alpha m} = \pi - \psi$; donc $\psi = \frac{\pi}{M + 1} =$ au champ apparent d'une lunette à deux verres convexes.

Pour déterminer le champ apparent d'une lunette à trois verres convexes ou à deux oculaires, poſons $r =$ à la diſtance focale du ſecond oculaire CC, ſa demi-ouverture E$\beta = \pi' r$. (J'appellerai dans la ſuite premier oculaire celui qui eſt le plus proche du foyer de l'objectif.) Soit $\beta n =$ à la diſtance de l'œil derriere le ſecond oculaire; on aura $\frac{\pi' r}{\beta n} = \phi' =$ au champ viſuel. Mais $\frac{1}{\beta n} = \frac{1}{r} - \frac{1}{mr}$ $= \frac{1}{r} - \frac{\pi R}{\alpha m \times \pi' r}$; donc $\frac{1}{\beta n} = \frac{1}{r} - \frac{\pi}{\pi' r} + \frac{\psi}{\pi' r}$; par conſéquent $M\psi = \phi' = \pi' - \pi + \psi$; enfin $\psi = \frac{\pi' - \pi}{M - 1} =$ au champ apparent d'une lunette à deux oculaires convexes. Fig. 9.

On trouvera de même le champ apparent pour trois oculaires convexes $= \frac{\pi'' - \pi' + \pi}{M + 1}$, & pour quatre oculaires convexes, $= \frac{\pi''' - \pi'' + \pi' - \pi}{M - 1}$.

§. 14. Parce que le diviſeur de l'expreſſion du champ eſt preſque $= M$, il s'enſuit que le champ apparent eſt en raiſon inverſe du groſſiſſement, les ouvertures des oculaires demeurant les mêmes. Il s'enſuit auſſi que le champ augmentera, ſi l'on place alternativement des verres convexes & concaves; le dividende deviendra alors la ſomme de $\pi''' + \pi'' + \pi' + \pi$ &c. Pour conſtruire donc une lunette à deux oculaires, il faut qu'un des deux ſoit concave. Une lunette à trois oculaires doit avoir un verre concave au milieu, ainſi de ſuite. Cependant ſi l'on ne veut employer que des oculaires convexes, p. ex. trois oculaires, il faut donner au ſecond oculaire une plus petite ouverture, afin que $- \pi'$ ſoit très petit par rapport à $\pi'' + \pi$. Pour quatre oculaires convexes, il faudra donner de plus petites ouvertures au premier & au troiſieme, ou au ſecond & quatrieme, afin que la ſomme $\pi''' + \pi'$ devienne beaucoup plus grande que celle de $- \pi'' - \pi$, ou réciproquement. Les demi-ouvertures des oculaires peuvent être le quart des diſtances focales, en ſorte que les quantités π''', π'' &c. ne doivent pas excéder un quart ou 0, 25, comme nous verrons dans la ſuite.

§. 15. Je me ſuis fait ſur la théorie du champ des difficultés que j'ai tâché de réſoudre par le ſecours de l'expérience. Ne paroit-il pas ſingulier au premier abord, que l'ouverture de l'objectif n'entre pour rien dans la détermination du champ? Ne semble-t-il pas que le champ devroit s'élargir à mesure qu'on augmente l'ouverture de l'objectif? Pour me tirer d'embarras, j'ai fait les expériences suivantes, avec une lunette de six pieds & deux pouces, à laquelle j'ai appliqué un oculaire de trois pouces. L'ouverture de l'objectif est d'un pouce, 2 lignes; celle de l'oculaire de deux pouces & une ligne. Le grossissement est donc $= \frac{74}{3} = 24,6 = M$, & $\pi = \frac{1,042}{3} = 0,3473$; donc le champ apparent $= \frac{2\pi}{M+1} = 1^\circ, 31', 36''$, selon la théorie. Je pointai d'abord la lunette sur une ville environ à deux lieues de distance, pour déterminer à peu près le champ. Ensuite ayant diminué l'ouverture de l'objectif depuis 1 pouce 2 lignes jusqu'à deux lignes, j'apperçus le même champ qu'auparavant. Mais le champ diminua considérablement à mesure que je couvrois l'oculaire. Pour déterminer exactement le champ, je fis passer *Jupiter* par le milieu de l'objectif découvert, & ensuite aussi au travers de l'objectif couvert, jusqu'à deux lignes d'ouverture. En prenant le milieu de trois observations, qui ne différoient pas de trois secondes, je trouvai que *Jupiter* avoit traversé l'objectif couvert, en $5', 35''$, & l'objectif découvert, en $5', 25''$, prenant aussi le milieu de trois observations. Or l'on auroit dû plutôt s'attendre à des résultats contraires, savoir que *Jupiter* eût mis plus de tems à passer par le champ de la lunette découverte que par celui de la couverte. En effet, j'ignore à quoi attribuer la différence de ces résultats, à moins qu'on ne veuille admettre que Jupiter ait dû paroître plutôt & disparoître plus tard sur les bords de l'objectif découvert, à cause de l'aberration vers les bords, laquelle devroit être diminuée de beaucoup par la petite ouverture de deux lignes que j'ai laissée à l'objectif couvert. Effectivement, Jupiter paroissoit, à l'entrée de la lunette, mal terminé & environné d'une fausse lumiere, laquelle disparoissoit à travers l'objectif couvert, qui me représentoit *Jupiter* comme un petit rond d'une lumiere très unie. Quoi qu'il en soit, ces observations ne prouvent que trop bien, que la *grandeur du champ ne dépend pas de l'ouverture de l'objectif*. Mais que l'ouverture de l'oculaire contribue à augmenter le champ, c'est de quoi je me suis facilement assuré; car le champ diminuoit à mesure que je couvrois l'oculaire.

§. 16. J'ai à dessein choisi *Jupiter* pour mes observations, lorsqu'il passoit quelques minutes après la Lune par le Méridien. Car ayant si considérablement diminué l'ouverture de l'objectif, j'aurois eu de la peine à suivre le passage d'une étoile fixe par la lunette, à cause du peu de lumiere que la lunette couverte m'auroit fournie. Je fis ces observations le 18 & le 19 Septembre de

1771; la déclinaifon de Jupiter étoit alors 22°, 47'. Or en convertiffant 5', 35" de tems en parties de l'Equateur, on trouve un arc de 5025", qui étant réduit à un arc de grand cercle, donne un arc = 5025" : cof 22°, 47' = 1°, 30', 51"; cet arc eft donc le champ apparent de la lunette, déduit de l'expérience, qui felon le calcul devroit être 1°, 31', 36". Or la différence de 45", qui fe trouve entre le champ calculé & le champ obfervé, eft trop petite pour pouvoir être oppofée à la théorie du champ que nous avons établie. Car une erreur de 2 fecondes de tems occafionne une erreur de 35" dans le champ; de plus une erreur d'$\frac{1}{4}$ de pouce dans les mefures des diftances focales produit une erreur de 30 fecondes dans le champ.

§. 17. Il me refte à difcuter la derniere qualité des lunettes, favoir la clarté. Les Opticiens mefurent la grandeur de la clarté par l'aire du cercle *ef*, formé de la lumiere tranfmife fur le dernier oculaire. Ce cercle doit au moins égaler la prunelle de l'œil. Pofant M = au groffiffement, x = à l'ouverture de l'objectif, ω = au diametre de la prunelle, le degré de clarté fe définit par la quantité $= \frac{x}{M}$. Il faut donc pour le moins que $\omega = \frac{x}{M}$. Si l'on pofe $\omega = \frac{1}{30}$ de pouce, je trouve les ouvertures des objectifs conformes à celles de la Table de *Huygens*. Mr. *Dollond* a conftruit une excellente lunette de 43 pouces. Elle groffit environ 150 fois; l'ouverture de l'objectif eft de 40 lignes, laquelle devroit être, felon la théorie expofée, $= 150 \times \frac{1}{30} = 50$ lignes. Fig. 4.

J'ai vu une bonne lunette de *Dollond* de 30 pouces, qui groffit environ 90 fois; l'ouverture de l'objectif = 25 lignes, laquelle devroit être = 30 lignes.

J'ai eu occafion d'examiner de plus près une lunette acromatique de $27\frac{1}{2}$ pouces, faite par l'habile Artifte - - - - L'objectif étoit double, fon ouverture de 21 lignes. Cette lunette, garnie de quatre oculaires, groffiffoit 56 fois les objets. Mais elle pouvoit comporter un oculaire de quatre lignes, en forte que je produifois un groffiffement de près de quatre-vingt. Elle auroit donc dû avoir une ouverture de 26 lignes. Or je puis affurer que ces deux lunettes ne manquoient pas de clarté pour obferver *Jupiter*. En les confrontant avec la premiere de Dollond, la feconde auroit dû avoir une ouverture de 24 lignes & la troifieme une ouverture de 21, 2 lignes; en effet leurs ouvertures different fort peu de celles que nous venons de trouver.

§. 18. Il feroit donc à fouhaiter qu'on fixât les ouvertures des lunettes acromatiques en les rendant auffi petites qu'il eft poffible, fans préjudice de la clarté requife; parce que les ouvertures des objectifs n'ont d'autre ufage que celui de fournir de la lumiere à la lunette, vu qu'elles ne contribuent en rien à augmenter le champ. §. 15. Mais le degré de clarté n'étant qu'en raison de l'ouverture de l'objectif, & l'aberration latérale en raison cubique; il est évident qu'il est très avantageux de diminuer les ouvertures des lunettes, parce qu'en perdant un peu de clarté, on gagneroit considérablement pour la vision distincte. Il faut remarquer en passant qu'une trop grande clarté est préjudiciable à la vision distincte. J'en ai été convaincu en examinant un microscope auquel l'Artiste procuroit une lumiere prodigieuse moyennant un large miroir. Ce microscope représentoit les objets opaques supérieurement bien. Aussi faisoit-il un meilleur effet à la lumiere d'une bougie, qu'à celle du jour. On voyoit au jour les objets peints avec des couleurs très vives, mais ils étoient fort embrouillés.

§. 19. En admettant l'explication ordinaire de la clarté des lunettes, il seroit facile de fixer le degré de leur clarté, ou leurs ouvertures. L'on pourra pour cet effet, employer une lunette acromatique qui ne grossit pas moins de 200 fois, savoir autant qu'un télescope de quatre pieds. Avec une telle lunette l'on verra assez bien Saturne & son anneau, qui, de tous les objets célestes, exige le plus de clarté. Rétrécissant peu à peu l'ouverture de l'objectif, on parviendra à fixer la plus petite ouverture requise pour bien observer Saturne. Or cette ouverture peut passer pour la plus grande qu'on doit donner à la lunette. Car il est certain qu'une lunette qui est bonne pour les observations de Saturne, sera très propre à fournir une lumiere abondante pour éclairer tous les objets tant terrestres que célestes. Comme on n'a pas encore construit des lunettes acromatiques qui fassent l'effet des télescopes de quatre pieds, l'on n'est pas en état de faire l'expérience proposée pour fixer les ouvertures des objectifs. Au reste cette expérience ne réussiroit pas si bien, si l'on vouloit employer une lunette plus courte, parce que l'on ne distingueroit pas si exactement les apparences de Saturne, en sorte qu'on seroit tenté de donner aux objectifs de plus grandes ouvertures qu'il n'en faudroit. En attendant l'on se contentera du degré de clarté de l'excellente lunette de *Dollond*, qui ne paroit pas être trop grand selon la théorie des lunettes de *Huygens*. Ce degré de clarté s'évalue par la quantité $40 : 150 = 0,2666$ lignes. Ainsi étant donné le grossissement M d'une lunette acromatique, l'ouverture de l'objectif ou x doit être $= 0,2666\,M$. La Table suivante contient les ouvertures de quelques objectifs, déduite de l'expression précédente.

Grossissement	70	100	120	160	200	250	300	350	400	500	1000
Ouvertures en lignes	18, 6	26, 6	32	42, 6	53, 3	66, 6	80	93, 3	106, 6	133, 2	266, 4

§. 20 Il ne ſera pas inutile de comparer les ouvertures des lunettes acromatiques avec celles des téleſcopes & des lunettes de *Huygens*. J'ai tiré la Table des ouvertures des téleſcopes de l'Optique de Smith.

Groſſiſſement.	Teleſc. Newt.	Teleſc. Greg.	Lunette de Huygens.	Lunettes acromatiques.
40	10, 44	19, 4	13	10, 6
60	16, 8	27, 6	19	16
86	24	39, 6	28	23
165	48	74, 5	55	44
242	70	110	79	64, 5

Il paroit par cette Table, que les ouvertures que nous avons données aux lunettes acromatiques ſont plus petites que celles des téleſcopes Grégoriens, & des lunettes ordinaires; qu'elles approchent de fort près des ouvertures des téleſcopes Newtoniens, dont les ouvertures ſont à celles des téleſcopes Grégoriens à peu près comme 2 à 3. Quelle peut donc être la raiſon pour laquelle les téleſcopes Grégoriens ont de plus grandes ouvertures? A en juger par les calculs de Mr. *Smith*, l'on ſeroit porté à croire que l'ouverture du grand miroir contribue à aggrandir le champ. Mais il me ſemble que M. *Smith* n'eſt pas exact dans la détermination du champ. Il dit que le diametre de la ſeconde image, (formée de la réflexion du petit miroir) diviſée par la diſtance focale de l'oculaire, donne l'angle du champ viſible. Il ſuppoſe de plus que le diametre de cette image égale l'ouverture du petit miroir, (ou le trou du grand miroir,) laquelle doit être à celle du grand miroir en raiſon des diſtances focales des miroirs. Or il n'y a pas de raiſon pourquoi le diametre de cette image doit égaler celui du petit miroir. Il ſuffit que le trou du grand miroir ſoit aſſez large pour faire paſſer l'image dans le porte-oculaire. Au reſte il faut déterminer le champ d'un téleſcope tout de même que celui d'une lunette, ſavoir: l'angle du champ d'un téleſcope eſt comme l'ouverture de l'oculaire diviſée par la diſtance de l'œil derriere l'oculaire.

§. 21. Il me paroit que les miroirs des téleſcopes Grégoriens doivent être plus larges à cauſe de la double réflexion par laquelle la lumiere étant affoiblie, doit être en quelque façon renforcée par une plus grande quantité de lumiere, qui eſt en raiſon de la ſurface du grand miroir. De plus, la lumiere réfléchie du petit miroir ſera auſſi affoiblie, parce qu'elle vient d'une petite ſurface, malgré la lumiere condenſée qu'elle a reçue du grand miroir. L'expérience prouve d'ailleurs, que ces inſtrumens n'ont pas trop de clarté. L'on ne ſauroit donc rien inférer de ces téleſcopes pour l'uſage des lunettes acromatiques. Au contraire, les téleſcopes Newtoniens nous inſtruiront mieux ſur notre ſujet. Il ne s'y forme qu'une ſeule image; car le miroir plan ne fait que changer la ſituation de l'image. Mais dans les télescopes Grégoriens il se produit deux images, dont la seconde est une copie grossie de la premiere image; celle-là doit donc être moins éclairée que la premiere. On peut donc mieux comparer les télescopes Newtoniens avec les lunettes astronomiques, où il ne se peint aussi qu'une image. Ainsi, comme les ouvertures des lunettes de Dollond different peu de celles des télescopes de Newton, on auroit raison d'en conclure que ces ouvertures là, telles que nous les avons calculées, ne devroient pas être plus petites; si l'expérience ne faisoit voir qu'il se perd plus de lumiere par la réflexion que par la réfraction. Selon les expériences que le célebre Mr. *Bouguer* a décrites dans son excellent Traité d'Optique, un miroir de métal ne réfléchit à peu près que la moitié de la lumiere, sous un angle de 75 degrés, tandis que la lumiere ne perd que la $\frac{1}{242}$ partie de sa clarté en traversant un verre de $9\frac{1}{2}$ lignes. Or les objectifs de Dollond n'ayant que deux ou trois lignes d'épaisseur, il semble qu'ils devroient encore admettre de plus petites ouvertures.

Que l'on ne m'allegue pas les ouvertures des lunettes de *Huygens*, qui sont plus grandes que celles des lunettes de *Dollond*. Je pourrois d'abord leur opposer les ouvertures des télescopes Newtoniens, lesquelles sont aussi plus petites que celles des tubes de *Huygens*. Ces lunettes n'étant point du tout exemtes de l'aberration de couleurs, elles doivent être bien éclairées pour que l'œil apperçoive moins d'iris, qui seront en partie effacées par une lumiere abondante, comme il paroitra dans l'Article suivant.

§. 22. Mais peut-être l'explication reçue de la clarté des lunettes est-elle défectueuse à plus d'un égard? Elle est physiquement fausse jusqu'à un certain point. Parce que la clarté, à ce qu'on suppose, est en raison inverse du grossissement, & en raison directe de l'ouverture, il s'ensuit que la clarté demeureroit la même, l'ouverture & le grossissement étant les mêmes. Or l'on peut produire le même grossissement, par un, par dix, ou par vingt oculaires. On devroit donc dans tous ces cas conserver la même clarté, ce qui est physiquement impossible. Quoique l'on ne combine pas plus de six oculaires avec les objectifs, cependant ma réflexion ne laisse pas de contrarier la théorie de la clarté des lunettes.

Les oculaires n'entreroient-ils point du tout en ligne de compte? L'explication du champ m'a fait naître cette idée. L'œil, dont la prunelle est en OR, embrasse le champ sous l'angle DXE, dont la corde est l'ouverture de l'oculaire. Il faut donc qu'il entre dans l'œil un cone de lumiere, qui a pour base, non pas le petit cercle $ef = OR$, mais plutôt toute la surface de l'oculaire. Mais comment distinguer le cone lumineux DXE, du cylindre de lumiere $eORf$?

Fig. 4.

Pour envisager géométriquement cette matiere, il semble que le cone de lumiere *NCL*, ou *DCE*, ou enfin *DXE*, est la lumiere qui vient de l'objet même *NL*; que le cylindre lumineux *SBAT* qui tombe sur l'objectif, étant changé dans le cylindre *efRO*, contient la lumiere du jour. En sorte que la clarté d'une lunette devroit être estimée par la somme des intensités de lumiere du jour & de l'objet. Si donc la lumiere du jour est plus foible que celle de l'objet, comme p. ex. la lumiere du Soleil, & de Vénus, quelquefois, le petit cercle de lumiere *ef* devient inutile; c'est alors qu'on pourra beaucoup diminuer l'ouverture de l'objectif. Si au contraire la lumiere de l'objet étoit plus foible que celle du jour, il faudra découvrir davantage l'objectif pour rendre plus grand le cylindre *eORf*. Quoique ces conséquences paroissent s'accorder assez bien avec ce qu'on a remarqué au sujet des lunettes astronomiques, je ne prétens pourtant pas substituer mon idée à la théorie reçue. Je la propose plutôt comme une difficulté, qui pourra engager les Opticiens à entreprendre des recherches sur la clarté des instrumens dioptriques. Il est d'ailleurs difficile de faire des expériences sur ce sujet. Car en ne donnant qu'une ligne ou une demi-ligne d'ouverture à l'oculaire, l'on diminue si prodigieusement le champ, qu'on aura de la peine à suivre Jupiter ou Saturne, qui sont les objets les plus propres pour ces sortes d'observations. Mais n'ayant pu achever toutes les recherches requises pour débrouiller mes idées sur la clarté des lunettes, je préfere de les présenter à l'illustre *Académie*, après les avoir rectifiées par l'expérience, si elle faisoit quelque accueil à mon travail.

SECOND ARTICLE.

Des aberrations du foyer des lentilles.

§. 23. Je suis d'accord avec les Opticiens sur la maniere de déterminer l'aberration de sphéricité; mais l'estime de cette aberration, telle qu'elle devient insoutenable, ne me paroit pas être bien constatée. Je conviens encore que la confusion qui en réjaillit sur la vision, peut se mesurer par un angle ou par la tangente, qui est en raison de l'aberration latérale, divisée par la distance focale de l'oculaire. Mais je crois prouver que cet angle peut être beaucoup plus grand que 2 ou 4 ou même 30 secondes, & qu'il n'altere pas la vision distincte. Cherchons d'abord l'aberration de sphéricité des télescopes Newtoniens, qui peuvent être plus exactement comparés avec les lunettes que ceux de Grégori. §. 21. Mr. *Hadley* a décrit dans les *Transactions philosophiques* (Num. 376. 378.) un excellent télescope de Newton, sur lequel Mr. *Smith* a dressé une Table pour la construction de ces instrumens. La distance focale du miroir est $=$ 62, 5 pouces $= r$, la plus petite demi-ouverture du miroir $=$

2, 25 pouces $= x$, la diſtance focale de l'oculaire $= \frac{1}{3}$ pouce $= \varrho$. Or l'on ſait que l'angle d'aberration dans ce téleſcope eſt $= \frac{x^3}{8 r^2 \varrho}$, par conſéquent l'angle de confuſion dans le téleſcope mentionné égale 0, 0010994 $=$ 3′, 45″. On trouvera cet angle de 3′, ſi l'on a employé un oculaire de 5 lignes de foyer. Mais perſonne ne doutera que le téleſcope mentionné ne doive parfaitement bien repréſenter les objets, étant fourni d'un oculaire de 5 lignes. L'on ne pourra donc nier que l'angle d'aberration de 3 minutes ne produiſe une aberration tolérable, d'autant plus que Mr. *Smith* a trouvé que les meilleurs téleſcopes Grégoriens de *Short* comportent un angle d'aberration de 51 minutes.

§. 24. Que l'on ne m'oppoſe pas les petites aberrations de ſphéricité des lunettes de *Huygens*. Je ferai voir que ce n'eſt pas pour prévenir les aberrations de ſphéricité, mais plutôt pour diminuer les aberrations de réfrangibilité, que ces inſtrumens ont de ſi petites ouvertures eu égard à leur longueur. Poſant la réfraction moyenne $=$ 1, 55, & $R =$ la diſtance focale de l'objectif, l'angle de l'aberration de ſphéricité eſt $= 1,529 \frac{x^3}{R^2 \varrho}$. Selon la Table de *Huygens*, R étant $=$ 360 pouces, il y aura $x = 1,5$, & $\varrho = 3,3$ pouces; donc l'angle d'aberration $=$ 0. 0000103 $= 2\frac{1}{2}$ ſecondes. Mais examinons auſſi l'angle d'aberration de réfrangibilité de ces lunettes. L'on ſait que le rayon du cercle d'aberration des couleurs eſt $= \frac{x}{58} =$ 0,0258620. Ce rayon étant vu à la diſtance du foyer de l'oculaire ou à 3, 3 pouces, il en réſulte un angle $=$ 0,0081400 $=$ 28 minutes. Vû cette prodigieuſe aberration de couleurs, il n'eſt pas ſurprenant que les lunettes ordinaires comportent de petites ouvertures, & qu'elles ſoient chargées de fauſſes couleurs. Malgré ce défaut, ces lunettes ne ſont pas auſſi mauvaiſes qu'elles devroient être, à en juger par l'angle d'aberration de couleurs, qui eſt de 28 minutes. Si donc un ſi grand angle rend l'aberration de couleurs aſſez ſupportable, pourquoi ne ſeroit il pas probable que l'aberration de ſphéricité ne pourra pas être de quelques minutes? Il paroit enfin par ce que nous venons de dire, qu'on ne ſauroit tirer aucune conſéquence des ouvertures des lunettes de *Huygens* pour évaluer l'aberration de ſphéricité; car l'on voit aſſez qu'on a dû rétrécir leurs ouvertures, non pas pour détruire l'aberration de ſphéricité, mais uniquement pour prévenir une aberration de couleurs tout à fait inſupportable. Les téleſcopes Newtoniens n'étant pas expoſés à l'aberration de réfrangibilité, mais ſeulement à celle de ſphéricité, ſont par conſéquent plus propres à nous éclairer ſur les bornes de l'aberration de de ſphéricité que les lunettes de *Huygens*. On pourra donc en attendant poſer les limites de cette aberration à trois minutes.

§. 25. L'on m'objectera encore le terme de la viſion diſtincte, qu'on détermine ordinairement par un angle d'$\frac{1}{2}$ ou d'une minute. On devroit donc, ce ſemble, s'appercevoir de l'aberration de ſphéricité ſous un angle de trois minutes. J'y pourrois oppoſer les téleſcopes de *Newton* & l'angle de 28 minutes, ſous lequel l'œil apperçoit l'aberration de réfrangibilité par les lunettes ordinaires. Mais cette objection mérite d'être diſcutée avec plus de détail. Si la viſion diſtincte ne dépendoit que de l'angle de viſion, j'aurois de la peine à écarter la difficulté. Je ne pourrois raiſonner que par la voie de l'analogie. Parce qu'on diſtingue des objets ſous un angle plus petit que 30 ſecondes, comme Mercure, Jupiter, Saturne & les étoiles fixes, à cauſe de leur vive lumiere, il ſeroit à préſumer qu'il faudroit fixer un plus grand terme de viſion à des objets moins éclairés. En ſorte que le terme de viſion pour l'aberration pourroit bien être de trois minutes. Mais les expériences ingénieuſes de M. *Mayer*, citées par le P. *Pezenas* dans la traduction de l'Optique de *Smith* page 409, dépoſeront en ma faveur. M. *Mayer* a prouvé, conformément à ſes expériences, que le terme de viſion dépend de la clarté de l'objet; il l'a établi en raiſon inverſe de la ſixieme racine de la clarté. Si l'on prend 30″ ou 60″ pour le terme de la viſion diſtincte à la lumiere du jour, laquelle ſoit exprimée par l'unité; & que f ſoit le terme de viſion d'un objet dont la clarté eſt $= c$, il y aura $f = \frac{30''}{\sqrt[6]{c}}$. Or il eſt probable par pluſieurs raiſons, que la clarté qui fait paroître l'aberration de ſphéricité, eſt moindre que la clarté du jour, ou en général moindre que celle de l'objet même. D'abord, l'intenſité de la lumiere doit diminuer dans l'eſpace de diffuſion, parce que les rayons y ſont éparpillés; tout de même, parce que la chaleur eſt moins concentrée dans le foyer d'un verre cauſtique, qu'elle ne le ſeroit ſi le foyer n'étoit qu'un point. De plus, qu'on regarde, dans une chambre obſcure, l'image formée au foyer d'une lentille à grande ouverture; l'on n'y appercevra pas des brouillards qui terniſſent l'image. Les bords de l'image ſont quelquefois environnés d'une pénombre, qui peut venir de la réfraction de la lumiere dans les particules d'air ou la petite atmoſphere qui environne les objets. L'on met peut-être trop ſur le compte de l'aberration de ſphéricité. Lorſqu'on force trop le groſſiſſement, l'on croit s'appercevoir de la confuſion de l'image. Je ne veux pas nier que l'aberration n'y entre pour quelque choſe. Mais parce qu'en augmentant le groſſiſſement, on diminue la clarté, la confuſion des images doit donc en partie être produite par la clarté diminuée. Nous tâcherons de diſtinguer dans la ſuite ces deux cauſes de la viſion confuſe.

§. 26. Je conclus de ce que je viens de dire, que l'aberration de sphéricité, considérée géométriquement, peut paroître de grande conséquence, mais considérée physiquement, elle est moins préjudiciable à la vision distincte qu'on ne le pense. C'est parce que la clarté qui nous la fait appercevoir, n'est pas assez vive pour affecter l'œil autant que la clarté de l'objet d'où résulte l'aberration de sphéricité. Pour répandre plus de jour sur cette matiere, je vais déterminer la clarté qui convient à l'aberration supportable de trois minutes. M. *Mayer* distingue dans ses expériences deux sortes d'objets, isolés & non isolés; il suppose le terme de la vision pour ceux-là de 30″ & pour ceux-ci de 60″. Je prendrai le milieu de ces deux angles, savoir 45″, pour terme de la vision distincte; par conséquent la formule de M. *Mayer* se changera en celle-ci, $s = \frac{45''}{\sqrt[6]{c}}$. Or $s = 3'$, donc $c = (45)^6 : (180)^6 = \frac{1}{4096}$. D'où il s'ensuit que la clarté qui éclaire le cercle d'aberration, égale la $\frac{1}{4096}$ partie de la clarté du jour. Ce peu de clarté sera donc entierement effacé par la lumiere du jour. Par conséquent l'aberration de 3′ sera très tolérable dans les lunettes terrestres, à plus forte raison dans les lunettes avec lesquelles l'on observe le Soleil. Mais pour nous faire un terme de comparaison avec la clarté trouvée du cercle d'aberration, je ferai usage d'une expérience de M. *Mayer*, par laquelle il a trouvé qu'une bougie placée à la distance d'$\frac{1}{5}$ de pied, répand une clarté égale à celle du grand jour. Pour que la clarté de cette bougie soit donc diminuée jusqu'à la $\frac{1}{4096}$ partie, il faudra la reculer à une distance de $12\frac{1}{2}$ pieds. Or à une telle distance l'on peut le soir distinguer une bougie. C'est pourquoi il se pourroit que ce peu de clarté, laquelle est absorbée par la lumiere du jour, fût assez considérable pour les objets célestes. Il est assez difficile de constater les rapports des clartés des planetes, malgré les belles expériences de Mr. *Bouguer* & les savantes recherches de M. *Euler* sur ce sujet. Il me suffira d'en tirer quelque application à la Lune. Mr. *Bouguer* a observé qu'une bougie placée à la distance de sept pieds paroit aussi éclatante que la pleine Lune. Donc la lumiere du jour est à celle de la pleine Lune $= (7)^2 : (\frac{1}{5})^2 = 1225 : 1$. Par conséquent la clarté de la Lune n'est que quatre fois plus grande que celle du cercle d'aberration. L'on pourroit donc soupçonner que le terme de l'aberration qui est soutenable pour les objets terrestres ne le seroit plus pour la Lune. C'est à l'expérience à nous éclaircir cette difficulté. S'il est cependant vrai que les télescopes Newtoniens, qui ne pechent que par l'aberration de sphéricité, nous cachent mieux leurs défauts à une lumiere plus foible, il s'ensuit que nous ne nous appercevrons pas autant des défauts de l'aberration à la lumiere de la Lune, qui cependant est quatre fois plus dense que celle de l'aberration. Je pense donc que l'aberration de trois minutes ne sera pas assez forte pour déranger les observations de la Lune.

§. 27. Je pourrois tirer des recherches précédentes une explication assez probable des nuages ou des brouillards dont on prétend que l'aberration de sphéricité couvre les images des objets, si l'on avoit suffisamment observé ces phénomenes. Mais mon sujet n'exige pas que je m'y arrête d'avantage. Je finirai cette matiere par des expériences que je proposerai & dont j'ai fait une partie, pour fixer plus surement l'aberration supportable. Je crois avoir prouvé que la théorie seule ne suffit pas pour déterminer le terme de l'aberration de sphéricité; * quelqu'étendues qu'elles nous paroissent, il ne faut pas s'en étonner. D'ailleurs l'œil, comme Mr. *Euler* l'a très judicieusement remarqué, s'efforce, pour ainsi dire, de corriger les défauts de la vision, parce que l'œil est formé pour voir nettement; tout de même que l'oreille qui s'ouvre & qui tend les nerfs de l'ouïe pour entendre des sons qui l'intéressent. L'œil est si mobile, si souple, si flexible dans toutes ses parties, qu'il est mieux en état de suppléer aux défauts de la vision que les *Euler* & les *Dollond*. —— Quoique j'aye déduit le terme de l'aberration des télescopes Newtoniens, il seroit pourtant à souhaiter qu'on le déterminât par les instrumens à réfraction, parce que les télescopes à réflexion n'ayant pas assez de clarté, il se pourroit qu'on attribuât à l'aberration les défauts qui viennent d'une moindre clarté. Mais comment séparer dans les lunettes les deux aberrations? Je ne connois que deux moyens d'y parvenir. Le premier seroit de calculer l'aberration de sphéricité d'un objectif acromatique qui représente les objectifs sans fausses couleurs, moyennant un oculaire donné. L'autre, qui me paroit aussi sûr que le premier, consiste à employer des objectifs simples d'un verre verd ou bleu, qui seroit assez transparent pour distinguer les objets. Ces objectifs devroient avoir de larges ouvertures. On pourroit faire les expériences de deux façons. Premierement, il faudroit successivement appliquer à cet objectif des oculaires d'$\frac{1}{2}$ pouce, d'un, de deux &c. pouces, jusqu'à ce qu'on vît les objets clairs & nets. Secondement, on se servira d'un oculaire, p. ex. d'un pouce de foyer, & l'on rétrécira l'ouverture de l'objectif jusqu'à ce que la vision devienne distincte.

Je pense qu'on écartera, du moins qu'on diminuera sensiblement l'aberration des couleurs moyennant un objectif bleu ou verd, parce que les rayons d'une même couleur ne sont plus assujettis à la dispersion, en sorte que la confusion devroit presque entiérement être produite par l'aberration de sphéricité. J'avois commandé, il y a plus d'un an, un pareil objectif; mais je n'ai pu l'avoir qu'au commencement du mois de Décembre, en sorte qu'il ne m'est gueres resté de tems pour achever mes expériences. D'ailleurs le mauvais temps m'a dérangé encore pour surcroit de malheur. J'en ai pourtant fait quelques-unes. Si l'Académie daignoit

* Ici le Manuscrit est fautif; nous n'avons pas osé le corriger.

faire quelque cas de mon travail, j'aurois l'honneur de lui communiquer des expériences plus exactes, que je me propose de faire dans la suite.

L'objectif est de verre verd assez transparent. La distance focale, mesurée dans une chambre obscure, est de 3 pieds $6\frac{3}{4}$ pouces. L'ouverture est de plus de trois pouces. J'ai choisi deux objets pour mes expériences, la Lune, & la girouette d'une église environ à la distance de six cents pieds. La girouette représente un coq. La crête de ce coq & la queue étendue en éventail me faisoient connoître si l'objectif représentoit nettement les objets.

Expériences.

1) Je laissai d'abord une ouverture de *six lignes* à l'objectif, mais je ne distinguai pas nettement mes deux objets, excepté par des oculaires de 2 pouces 2 lignes, & de 3 pouces 5 lignes.

2) Je donnai une ouverture d'*un pouce* à l'objectif. J'y appliquai successivement des oculaires de 5, 11, 15, 26, 41 lignes, lesquels je distinguerai dans la suite par les lettres *A*, *B*, *C*, *D*, *E*. L'expérience ne réussit pas trop bien avec l'oculaire *A*. Je distinguai les plumes de la queue du coq, sans couleurs; mais elles ne me parurent pas assez éclairées. J'eus aussi quelque peine à distinguer les inégalités de la Lune. Mais l'oculaire *B* étoit tout à fait ajusté à l'ouverture d'un pouce. La clarté augmenta considérablement par l'oculaire *C*, & plus encore par les autres *D* & *E*.

3) L'ouverture étant de 15 lignes, je distinguois assez bien par l'oculaire *A*, la denture de la crête du coq, mieux encore par *B*, & très clairement par *C* sans couleurs. Le temps étoit couvert. J'appliquai un oculaire verd à peu près d'un pouce de foyer, fait du même verre que l'objectif. Je vis fort bien la denture, mais presqu'aussi foiblement qu'à travers l'oculaire de cinq lignes Je distinguois avec l'oculaire *A*, les taches de la Lune & surtout les traits rayonnans qui partent de *Tycho*. Je fis cette observation un jour après la pleine Lune. L'oculaire verd, & l'oculaire *B* faisoient un bel effet.

4) Par l'ouverture de 18 lignes je trouvai très peu de de différence entre les observations & celles que j'avois faites pour l'ouverture de 15 lignes.

5) Mais l'ouverture de 21 lignes ne comportoit plus l'oculaire de 5 lignes. La représentation étoit embrouillée, mais sans couleurs. L'oculaire *B* faisoit un assez bel effet, mais je vis paroître quelques couleurs. L'oculaire verd d'un pouce représentoit la Lune sans couleurs, de même que les oculaires *C*, *D*.

6) Pour l'ouverture de 24 lignes, elle admettoit encore l'oculaire *B*. Les oculaires *C* & *D* repréſentoient les objets diſtinctement, mais pas tout à fait ſans couleurs. L'oculaire verd faiſoit encore un bon effet.

7) L'ouverture de 27 lignes étoit incompatible avec l'oculaire *B*. L'oculaire verd repréſentoit encore ſans couleurs, mais foiblement, les objets. Les oculaires *C* & *D* découvrirent des couleurs, pas aſſez fortes pourtant pour embrouiller les objets.

Quelque imparfaites que ſoient ces expériences, elles ne laiſſent pas de nous donner quelques lumieres ſur l'aberration de ſphéricité. Selon *Huygens*, notre objectif n'auroit pu ſouffrir qu'une ouverture d'un pouce & un oculaire de 13 lignes. Il paroit donc que l'objectif verd a en effet diminué les iris; car les couleurs ne commencerent à paroître que par l'ouverture de 21 lignes, & même ſeulement par une ouverture de 30 lignes, en employant l'oculaire verd. Dans la quatrieme expérience l'ouverture de 18 lignes comportoit un oculaire de 5 lignes; poſant la réfraction moyenne ou celle des rayons verds $= 1,55$, l'angle d'aberration ſera $= \frac{(9)^3 \times 1,529}{(523)^2 \times 5} = 0,0008155 = 2', 48''$. La ſixieme expérience fournit l'angle d'aberration $= \frac{(12)^3 \times 1,529}{(523)^2 \times 11} = 0,0008803 = 3', 2''$.

Mais que dire de l'effet de l'oculaire verd, qui ſe ſoutenoit juſqu'à l'ouverture de 30 lignes? La repréſentation étoit foible, je l'avoue, à cauſe de la tranſparence diminuée par les deux verres verds. Mais cet oculaire écartoit d'un autre côté les couleurs, & par là rendoit la viſion moins embrouillée. Or poſant l'ouverture de 28 lignes ſeulement pour l'oculaire verd d'un pouce, on trouve l'angle d'aberration $= 5', 34''$. Je crois au moins pouvoir inférer de ces expériences que l'angle d'aberration de trois minutes, déduit des téleſcopes Newtoniens, n'eſt pas trop grand; car prenant le milieu des trois angles trouvés, on aura un angle d'aberration de $3', 48''$. Mais je me réſerve de faire à loiſir un plus grand nombre d'expériences ſur cette matiere importante.

§. 28. Après avoir à peu près établi l'aberration de ſphéricité ſupportable, nous ſerons mieux en état de juger de la perfection des lentilles. Comme l'illuſtre Académie exige que les recherches ſoient fondées ſur des expériences, je ne ſaurois mieux faire que d'examiner la plus excellente lunette, qui paroit atteindre à un très haut degré de perfection. C'eſt celle de Mr. *Dollond*, qui eſt détaillée dans le *Journal des Savans* de l'année 1769, du mois de Décembre. L'objectif eſt triple. Entre deux lentilles convexes de *Crownglaß* eſt placée une lentille concave de *Flintglaß*. La distance focale est environ de $43\frac{1}{2}$ pouces. Cette lunette grossit environ 160 fois, presqu'autant qu'un télescope de la même longueur. L'ouverture est de 40 lignes. Marquant par a, b, α, β, A, B, les rayons des six surfaces des trois verres, & commençant par la surface qui est tournée vers l'objet, il y a, $a = 26$ pouces, $b = 36$, $\alpha = 20$, $\beta = 25$, & $A = B = 26$ pouces. Posant les rapports de réfraction dans le *Crownglaß* $= 1,55$, & dans le *Flintglaß* $= 1,62$, l'on trouvera la distance focale de cet objectif $= 43,5934 = Q$. La distance focale de la premiere lentille $= 27,4487$ pouces, celle de la lentille concave $= 17,9211 = R$, celle de la troisieme $= 23,6363 = \varrho$.

§. 29. Posant les dispersions dans le *Crownglaß* & dans le *Flintglaß* $= 2 : 3 = dm : dn$, l'on sait qu'il faut résoudre l'équation pour détruire l'aberration de réfrangibilité dans cet objectif, savoir: $\frac{dm}{(m-1)r} - \frac{dn}{(n-1)R} + \frac{dm}{(m-1)\varrho} = 0$. D'où l'on tire $\frac{dn}{(n-1)R} = \frac{dm}{(m-1)}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right)$. Mais $\frac{1}{Q} = \frac{1}{r} - \frac{1}{R} + \frac{1}{\varrho}$; donc $\frac{dm}{(m-1)R} + \frac{dm}{(m-1)Q} = \frac{dm}{(m-1)}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\varrho}\right) = \frac{dn}{(n-1)R}$. D'où l'on déduit $R = Q\left(1 - \frac{dn}{n-1} \times \frac{m-1}{dm}\right) = 17,8151$ pouces. Or nous avons trouvé dans l'article précédent, que la distance de la lentille de *Flintglaß* ou R est $= 17,9211$ pouces. D'où il paroit que *l'objectif de Dollond a été composé conformément à la théorie de l'aberration des couleurs, ainsi qu'il est acromatique.* La petite différence, d'un $\frac{1}{10}$ de pouce, qui se trouve entre les foyers déduits du calcul & de l'objectif même, n'est d'aucune importance, parce qu'elle peut venir d'une erreur commise dans les mesures des dimensions de l'objectif.

§. 30. Je passe à l'examen de l'aberration de sphéricité de cet objectif. Quelques formules qu'on emploie pour calculer cette aberration, elles sont également embarrassantes pour les calculateurs. Elles demandent des calculs très rigoureux, poussés pour le moins à des cent-milliemes parties d'un pouce, lorsqu'elles contiennent les distances focales inverses, comme $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$ &c. D'ailleurs elles ne sont pas géométriquement exactes, parce qu'on y omet les cubes des ouvertures, lesquels ne sont pas tout à fait à négliger pour les objectifs acromatiques, dont les ouvertures ne ſont pas ſi exceſſivement petites par rapport aux diſtances focales. Pour moi j'ai trouvé par une longue pratique, que la formule qui contient les arcs des ſurfaces & leurs ſinus, au lieu des rayons, eſt la plus exacte & la plus expéditive. Je montrerai auſſi dans la ſuite qu'on peut, par le ſecours de ces formules, voir d'un coup d'œil les changemens qu'il faut faire aux dimenſions d'une lentille compoſée, pour diminuer l'aberration de ſphéricité, ce que je défie le plus habile calculateur de pratiquer au moyen des autres formules. Auſſi les formules en queſtion ſont plus élégantes, & plus faciles à démontrer. Elles n'induiſent pas les Géometres à faire des ſuppoſitions vagues pour déterminer les rayons des ſurfaces. M. *Beguelin* s'en eſt ſervi avec grand ſuccès dans ſon excellent Mémoire ſur les objectifs acromatiques, inſéré dans les *Mémoires de l'Académie de Berlin* de l'année 1762.

Soit donc AMB une lentille bi-convexe, ſur laquelle tombent des rayons paralleles IN. L'arc de la ſurface antérieure AN ou AM ſoit $= f$, & celui de la ſurface poſtérieure BR ou $MB = g$: Les centres de ces arcs ſont en a & α. Le rayon incident IN eſt rompu à l'entrée de la ſurface AM ſelon Nr, Fig. 5.

donc $\sin aNr = \frac{\sin f}{m} = \frac{\sin aNS}{m}$. Ce rayon Nr fait avec la ſeconde ſurface MB un angle d'incidence SRr; il eſt rompu, en ſortant, ſelon $R\phi$, en ſorte que le foyer de la lentille ſera en ϕ. Il y aura, $\sin SR\phi = m \sin SRr$. Or $SRr = g + Rr\alpha = g + f - aNr$, & $SR\phi = g + \phi$, donc $\sin(g + \phi)$ $= m \sin\left(g + f - \text{A.}\frac{\sin f}{m}\right)$, donc $\phi = \text{Arc}\ m \sin\left(g + f - \text{A.}\frac{\sin f}{m}\right)$ $- g$. De plus, ſoit l'ouverture $MC = x$, la diſtance focale $B\phi = Q$, on aura $Q = C\phi - CB = x \cot.\phi - x \operatorname{tang}\frac{1}{2}g$.

§. 31. Appliquant cette formule à la premiere lentille de l'objectif de *Dollond*, on trouvera, $\sin f = x : a = 1,666666 : 26 = 0,0\,41025$, donc $f = 3°, 40', 519463$. De même on trouvera, $\sin g = 0,0462963$, donc $g = 2°, 39', 211974$. De plus $\text{Arc}\frac{\sin f}{m} = 2°, 22', 213352$. Par conſéquent $\phi = 3°, 29', 353531$.

l'en neg
l'epaiſſeur
la lent

§. 32. La ſeconde lentille de l'objectif eſt bi-concave, dans laquelle entre le rayon convergent $I\phi$; il fait avec l'axe de la lentille l'angle $\phi = 3°, 29', 353531$. Les angles d'incidence & de réfraction ſur la ſurface antérieure ſont INa, rNa, Fig. 6.

Donc $\sin aNr = \frac{\sin aNI}{n} = \frac{\sin(f+\phi)}{n}$. Les angles d'incidence & de réfraction sur la seconde surface étant, $SR\alpha$, $OR\alpha$, il y aura, $n \sin SR\alpha = \sin OR\alpha$. Mais $SR\alpha = g + r = g + f - aNr$, & $OR\alpha = \phi' + g$, par conséquent $\phi' = \text{Arc}\, n \sin\left(f + g - \text{Arc}\, \frac{\sin(f+\phi)}{n}\right) - g$. Donc le foyer des deux lentilles combinées est en ϕ'.

On trouve $f = 4°, 46', 81034$, $g = 3°, 49', 353083$, & Arc $\frac{\sin(f+\phi)}{n} = 5°, 5', 614566$, donc $\phi' = 1°, 52', 084913$.

§. 33. Les rayons qui sortent de la seconde lentille, entrent en divergeant dans la troisieme lentille, laquelle est bi-convexe. On trouvera, comme auparavant, l'angle au foyer ou $\phi'' = \text{Arc}\, m \sin\left(f + g - \text{Arc}\, \frac{\sin(f+\phi')}{m}\right) - g = \text{Arc}\, 1,52 \sin(7°,21',038926 - 3°,45',761937) - 3°,40',519463 = 2°, 11', 152504$. Or cet angle au foyer nous fournira la distance focale de la lentille composée, savoir $Q = x(\cot\phi' - \text{tang}\,\frac{1}{2}f) = 43, 6118$ pouces. (§. 30.) Or nous avons trouvé la distance focale des rayons voisins de l'axe $= 43, 5934$; donc l'aberration de sphéricité $= 0, 0184$ pouces. Par conséquent l'aberration latérale $= 0, 0007077$. Ainsi, pour admettre les angles d'aberrations de 3, 4, 5, 6, 7 minutes, il faudroit combiner avec cet objectif des oculaires de 9, 72 lignes, 7,2 lignes, 5, 7 lignes, 4, 8 lignes, 4 lignes. Enfin il faudroit admettre un angle d'aberration de $7\frac{1}{2}$ minutes, pour produire un grossissement de 150 fois moyennant un oculaire de 3, 3 lignes.

§. 34. Cependant il est facile de diminuer l'aberration de sphéricité dans cet objectif; l'on n'aura qu'à changer tant soit peu les dimensions des surfaces de la premiere lentille, conservant la distance focale. Si l'on prend l'arc postérieur g un peu plus grand, donc l'arc f plus petit, l'angle ϕ deviendra plus grand, par conséquent l'angle ϕ' deviendra plus petit, & l'angle ϕ'' sera plus grand. Or la distance focale des rayons éloignés de l'axe est trouvée plus grande que celle des rayons voisins de l'axe; donc en augmentant l'angle ϕ'', au foyer de la lunette, l'on diminuera nécessairement la distance focale des rayons éloignés, laquelle par conséquent s'approchera de la distance focale des rayons voisins de l'axe; ainsi l'aberration décroitra. Il vaut mieux changer les dimen-

sions

sions de la premiere lentille que celles de la troisieme, parce qu'on gagneroit fort peu, à moins de faire l'un double ou triple de l'autre. Qu'on pose donc le rayon de la surface postérieure de la premiere lentille ou $b = 35$ pouces au lieu de 36 pouces. Comme il faut conserver la distance focale r de cette lentille, il faut partager les arcs f & g, pour que la somme de leurs sinus demeure la même. Car $r = \frac{ab}{(a+b)(m-1)}$, & $a = \frac{x}{\sin f}$, & $b = \frac{x}{\sin g}$, donc $r = \frac{x}{(m-1)(\sin f + \sin g)}$. Si donc l'ouverture x & la somme des arcs demeure constante, la distance focale r demeure la même. Or posant $b = 35$ pouces, on aura $\sin g = 0,0476190$; mais $\sin f + \sin g = 0,1103988$, (§. 31.) donc $\sin f = 0,0627798$, donc le rayon a de la surface antérieure est de 26 pouces $6\frac{1}{2}$ lignes ou 26, 5414 pouces. Faisant le calcul, l'on trouvera la distance focale de l'objectif corrigé $= 43,59875$, ainsi l'aberration en longueur ne sera que 0,00535 pouces, & l'aberration latérale $= 0,0002057$. Appliquant à cet objectif corrigé des oculaires de 3, $2\frac{1}{2}$, 2 lignes, les angles d'aberrations seront $2', 5''$; $3', 2''$; $4', 26''$. Or les expériences précédentes nous ont fourni l'aberration supportable de trois minutes pour le moins. En sorte qu'on pourra sans crainte appliquer à l'objectif corrigé l'oculaire de 3 lignes, & par conséquent produire un grossissement de 174, qui est plus grand que celui d'un télescope Grégorien de la même longueur.

§. 35. Si l'objectif de Mr. *Dollond* est trouvé si excellent, il n'est pas douteux qu'il ne soit encore plus parfait par la petite correction que j'y ai apportée de la maniere la plus aisée. En sorte que je m'en tiens encore au défi que j'ai proposé aux Géometres §. 30, de se servir aussi aisément & avec autant de succès de leurs formules algébriques. Il est impossible de deviner, par ces formules compliquées, les changemens qu'il faut faire aux surfaces des lentilles pour diminuer l'aberration. Je crois donc avoir proposé un excellent objectif, conformément à la théorie & à l'expérience. Il mérite aussi d'être reçu comme un modele sur lequel l'on fera des objectifs aussi excellens. Posant $Q =$ distance focale d'un objectif acromatique triple, les six rayons des surfaces auront les dimensions suivantes: $a = 0,60886\,Q$, $b = 0,80288\,Q$, $\alpha = 0,45876\,Q$; $\beta = 0,57348\,Q$, $A = 0,45961\,Q = B$.

L'ouverture $x = 40$ lignes. Pour produire un grossissement de 173 fois, il faut employer un oculaire de 3 lignes $= h$. Soit $y =$ l'ouverture d'un autre objectif qu'on veut construire sur notre modele, soit $\gamma =$ la distance focale de l'oculaire, & $q =$ distance focale de l'objectif laquelle est donnée. Parce que la lunette est acromatique, la vision distincte ne sera troublée que par l'aberration de sphéricité. Or, pour que deux lunettes ayent la même aberration de sphéricité, il faut qu'on ait $\frac{x^3}{Q^2 h} = \frac{y^3}{q^2 \gamma}$. De plus, pour qu'elles ayent le même degré de clarté, il faut qu'on ait $\frac{x h}{Q} = \frac{x \gamma}{q}$. De la combinaison de ces équations l'on tirera la distance focale de l'oculaire $= \gamma = h \sqrt[4]{\frac{q}{Q}}$. L'ouverture de l'objectif $= y = x \sqrt[4]{\frac{q^3}{Q^3}}$. Le grossissement $= \frac{q}{\gamma}$. Ou bien, posant pour x, Q, h, les valeurs numériques tirées du modele, l'on aura $\log \gamma = 8,9880850 + \frac{\log q}{4}$, & $\log y = 9,2943135 + \frac{3}{4} \log q$. C'est sur ces formules que j'ai construit la Table suivante.

Foyers de l'objectif, q.	Foyers de l'oculaire, γ.	Ouvertures en pouces, y.	Grossissement.
30 pouces	2, 68 lignes	2 pouces 6 lignes	135
36	2, 88	2 11	150
$43\frac{1}{2}$	3,	3 4	173
48	3, 07	3 11	187
54	3, 15	4 2, 8	206
60	3, 24	4 10	222
72	3, 40	5 $5\frac{1}{2}$	253
84	3, 53	6 2	283
120	3, 86	7 $1\frac{1}{2}$	373
20 pieds	4, 60	12	626
40 —	5, 46	20 2	1055

§. 36. Quoique les lunettes acromatiques grossissent autant que les télescopes Grégoriens, ils ne font pas un assez grand effet pour découvrir des nouveautés frappantes dans le ciel. Si l'on venoit même à bout de construire une lunette acromatique de 40 pieds, elle ne grossiroit que mille fois. Mais nous faisons voir dans le dernier Article qu'une lunette devroit grossir près de deux mille fois pour découvrir des choses extraordinaires. Il faudra donc chercher des moyens d'augmenter considérablement le grossissement des lunettes acromatiques pour les porter au plus haut degré de perfection. Je crois avoir trouvé ces moyens par la combinaison de deux oculaires dont je parlerai dans la suite.

§. 37. Je ne veux cependant pas faire passer notre objectif pour le seul bon qui puisse se construire. Je conviens au contraire, qu'on pourra composer des objectifs aussi bons sur d'autres dimensions. En un mot, le probleme en question est très indéterminé. L'objectif a six surfaces; pour en déterminer les dimensions, il n'y a que trois équations, savoir celles que fournissent la distance focale de l'objectif & la destruction des deux aberrations. Il est donc théorétiquement possible de construire une multitude d'objectifs également bons. Mais cela seroit-il physiquement vrai? Je n'ignore pas que le même effet peut, dans ce monde contingent, naître de plusieurs causes. Mais oseroit-on avancer que la combinaison innombrable de trois lentilles, fournie par la théorie, donneroit des objectifs également bons? N'y auroit-il pas certaines qualités du verre, de la vision & d'autres circonstances dans la pratique, qui rendroient une combinaison préférable à l'autre? Ou bien la nature admettroit-elle des problemes indéterminés? Je ne vois pas comment me tirer de ces difficultés. L'expérience doit décider ce point métaphysique. Il faudroit construire, selon la théorie, des lentilles dont les dimensions fussent très différentes entr'elles, pour éprouver laquelle de ces combinaisons seroit physiquement la meilleure. Ayant prouvé que la lunette de Mr. *Dollond*, telle que je l'ai corrigée, répond parfaitement à la théorie & à l'expérience, je crois pouvoir avancer qu'il est probable que des objectifs triples qui s'écartent beaucoup des dimensions de l'objectif anglois, ne sauroient être des meilleurs. Enfin je crois qu'*on ne sauroit entiérement résoudre la premiere partie de la question proposée par l'Académie Royale, pour déterminer les dimensions du meilleur objectif*, parce qu'il y a peut-être plusieurs combinaisons de lentilles également bonnes. Il a été difficile jusqu'ici de faire des expériences sur les objectifs composés, à cause de la rareté du bon *Flintglaß*. Les Opticiens Anglois n'en laissent pas sortir de leur patrie. J'espere d'avoir des objectifs de Mr. *Dollond*, construits selon les devis donnés par Mrs. *Euler* & *d'Alembert* dont il est fait mention dans le paragraphe qui suit.

§. 38. Je me suis borné aux objectifs triples, parce que les Opticiens s'accordent à les préférer aux objectifs doubles. Je m'en rapporte entr'autres à l'excellente Dissertation de Mr. *Beguelin* insérée dans les Mémoires de l'Académie de l'année 1762. Pour répandre plus de jour sur ce que j'ai dit dans le §. précédent, je vais passer en revue les objectifs triples proposés par Mrs. *d'Alembert* * (Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris 1762.), *Beguelin* (Dissertation citée) & *Euler* (à la fin du premier Tome de sa Dioptrique).

* C'est l'objectif tel que M. *Beguelin* l'a corrigé dans son Mémoire cité.

	d'Alembert	Beguelin	Euler	Dollond corrigé. (§. 35.)
a	$= 0,60857\,Q$	$0,57580\,Q$	$0,2829\,Q$	$0,60886\,Q$
b	$= 0,33092\,Q$	$0,89250\,Q$	$2,0729\,Q$	$0,80288\,Q$
α	$= 0,33092\,Q$	$0,50923\,Q$	$2,1459\,Q$	$0,45876\,Q$
β	$= 0,92872\,Q$	$0,62201\,Q$	$0,2955\,Q$	$0,57348\,Q$
A	$= 0,92872\,Q$	$0,66209\,Q$	$0,5938\,Q$	$0,45961\,Q$
B	$= 1,22589\,Q$	$0,74264\,Q$	$2,5006\,Q$	$0,45961\,Q$

§. 39. Il paroit au premier abord, que les objectifs de Mrs. *d'Alembert* & *Euler* s'écartent à tous égards de celui de *Dollond*.

1) La distance focale de la premiere lentille est plus petite que celle de la seconde, c'est à dire que $r < R$. Dans l'objectif de Mr. *d'Alembert*, r est $= 0,39139\,Q$, & $R = 0,39326\,Q$, & dans celui de Mr. *Euler* il y a $r = 0,43492\,Q$, & $R = 0,44782\,Q$. Or dans l'objectif de *Dollond* il y a $r = 0,62970\,Q$, & $R = 0,41113\,Q$. Si $r > R$, comme dans l'objectif Anglois, la distance focale des deux premieres lentilles combinées ou $\frac{Rr}{R - r}$ devient négative, ce qui fait que les rayons entrent divergens dans la troisieme lentille. Mais dans les autres objectifs, les rayons qui entrent dans la seconde & troisieme lentille sont convergens. Or la convergence & divergence des rayons contribue beaucoup à diminuer l'aberration de sphéricité, comme il est facile de s'en convaincre par nos formules; car les formules pour déterminer les angles aux foyers des dernieres lentilles sont semblables; mais elles ne le seroient pas si les rayons étoient tous convergens; donc l'aberration tomberoit toujours dans le même sens.

2) Les dimensions des surfaces d'une même lentille different trop entr'elles, surtout celles de l'objectif de Mr. *Euler*, dont l'une est cinq fois plus grande que l'autre.

3) Aucun des rayons des surfaces de la lunette Angloise n'est plus grand que la distance focale. Mais dans l'objectif de Mr. *d'Alembert* il y a un des six rayons, & dans celui de Mr. *Euler* il y a trois rayons plus grands que la distance focale Q.

4) Les rayons des surfaces postérieures sont plus grands que ceux des surfaces antérieures de l'objectif de *Dollond*. Il n'en est pas de même dans les autres objectifs.

5) Les épaisseurs de ces deux objectifs sont considérables; elles vont jusqu'à cinq lignes d'épaisseur. Malgré le respect que je dois à ces deux illustres

Savans, je ne faurois propofer leurs objectifs pour modeles, avant que de les avoir foumis à l'épreuve. Ils demandent d'ailleurs quelques corrections, parce qu'ils font chargés de l'aberration de fphéricité.

§. 40. L'objectif de M. *Beguelin* approche de fort près de celui de *Dollond*, & il peut paffer pour très bon. Il réunit tous les caracteres de l'excellent objectif Anglois. La diftance focale r eft $> R$. Les rayons des furfaces font plus petits que la diftance focale Q. Ils ne different pas beaucoup entr'eux, ainfi de fuite. Une différence marquée qui fe trouve entre ces deux objectifs, fe rencontre dans l'égalité des diftances focales des lentilles extrêmes r & ϱ. Mr. *Beguelin* les rend égales, mais *Dollond* a établi $r > \varrho$. Or en faifant $r > \varrho$, l'on rend plus grande la divergence des rayons qui fortent de la feconde lentille pour entrer dans la premiere, ce qui contribue, comme je l'ai dit, à diminuer l'aberration de fphéricité.

ARTICLE TROISIEME.

De l'aberration des objets placés hors de l'axe de la lentille.

§. 41. Mr. *d'Alembert* a favamment traité, dans le troifieme Tome de fes *Opufcules*, de l'aberration des objets placés hors de l'axe de la lentille, ayant difcuté les deux cas où peut fe trouver l'objet hors de l'axe, qui font que l'objet fe trouve dans le plan qui paffe par l'axe, ou dans un plan qui ne paffe pas par l'axe. Ce fublime Géometre a prouvé dans les *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris* de l'année 1764, que les mêmes conditions fubfiftent pour détruire les aberrations des objets dans l'axe, & celles des objets hors de l'axe. Sans m'engager dans des calculs compliqués, je me flatte d'avoir traité cette matiere avec affez de fimplicité & avec une rigueur qui fuffit pour la pratique. Je commencerai par les objets fitués dans le plan qui paffe par l'axe.

§. 42. Suppofons que le point P hors de l'axe AX, lance deux rayons PM, Pm fur la lentille DMB, en forte que $MC = Cm$, ou bien que les deux rayons tombent à diftances égales de l'axe de la lentille. Les rayons PM, Pm en fortant de la lentille fe couperont quelque part en π, ayant traverfé l'axe en F & f. Il eft évident que l'image de P fe trouve au point π. Pour que cette image ne foit pas affujettie à l'aberration, il faudroit donc que tous les rayons qui émanent du point P, vinfent fe réunir au point π. Pour cet effet, la fituation du point π doit être fixe, p. ex. par rapport à l'axe AX. Ainfi abaiffant la perpendiculaire $\pi\varrho$ fur l'axe, il eft clair que les lignes $B\varrho$ & $\pi\varrho$ doivent être Fig. 7.

exprimées par des lignes constantes. La solution du probleme dépend donc de la recherche des lignes $\pi\varrho$ & $B\varrho$.

§. 43. Parce que la situation du point P est donnée, on saura sa distance à l'axe, ou $Pp = g$, & sa distance à la lentille DBM, ou $pC = h$. Pour les objectifs des lunettes, il faut que g soit plus grand que la demi-ouverture de l'objectif $RM = x$. Mais dans les microscopes, il se peut qu'il soit $g < x$. Qu'on prolonge le rayon PM jusqu'à la rencontre de l'axe en α; il est évident qu'on pourra envisager les rayons PM, Pm, comme s'ils étoient partis des points de l'axe α & a. Il s'agit donc d'abord de trouver les lignes aC & $B\alpha$; car celles-ci étant connues, on connoitra facilement les foyers conjugués F & f des points α & a. Puisque $\alpha p : pR = pP : pP - RM$, l'on aura $\alpha p = \frac{hg + \frac{gx^2}{2r}}{g - x}$ (posant $r =$ au rayon de la surface MCm; donc $CR = x^2 : 2r$); donc $\alpha B = \frac{hx - \frac{gx^2}{2r} + \frac{2x^3}{2r}}{g - x}$, (je suppose la lentille isoscele). Quand même la lentille ne seroit pas isoscele, l'on pourroit admettre sans erreur $CR = RB$, & $CB = 2CR$. Puis l'on aura $aR : mR = pR : mR + Pp$. Par conséquent $aR = \frac{hx + \frac{x^3}{2r}}{x + g}$, & $aC = \frac{hx - \frac{gx^2}{2r}}{g + x}$. Posant $R =$ à la distance focale des rayons voisins de l'axe de la lentille, il y aura $\frac{1}{BF} = \frac{1}{\alpha B} + \frac{1}{R}$, & $\frac{1}{R} - \frac{1}{aC} = \frac{1}{Bf}$. Les triangles semblables $\pi\varrho f$, mfR, & $\pi R\varrho$, FRM, nous fournissent les analogies suivantes, savoir: $f\varrho : fR = \pi\varrho : Rm$ ou RM, & $F\varrho : FR = \pi\varrho : RM$; donc $f\varrho : fR = F\varrho : FR$, & $fF : fR + RF = F\varrho : FR$; par conséquent $F\varrho = \frac{fF \times FR}{fR + RF} = \frac{FR(Rf - RF)}{fR + RF}$. Ensuite $R\varrho = \frac{2FR \times fR}{fR + FR}$. Enfin $\pi\varrho = \frac{F\varrho \times x}{RF} = \frac{x(Rf - RF)}{fR + RF}$.

§. 44. Pour que la distance $R\varrho$ soit constante, il faut que $R\varrho$ ou $\frac{1}{R\varrho} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{fR} + \frac{1}{FR}\right) =$ constante. Or négligeant l'épaisseur de la lentille,

qui ne fait rien à l'aberration du foyer, il y aura $fR = fB$, & $FR = FB$; donc $\frac{1}{B\varrho}$ ou $\frac{1}{R\varrho} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{Bf} + \frac{1}{BF}\right) = \frac{1}{2}\left(\frac{2}{R} - \frac{1}{aC} + \frac{1}{aB}\right) =$
$\frac{1}{2}\left(\frac{g - x}{hx - \frac{gx^2}{2r} + \frac{2x^3}{2r}} - \frac{g + x}{hx + \frac{x^3}{2r}} + \frac{2}{R}\right)$. La quantité $\frac{g}{h}$ est la tangente du demi champ apparent de l'objet ou d'une partie de l'objet. Soit $\frac{g}{h} = \phi$. Or la quantité $\frac{x}{h}$ sera nulle pour les lunettes, mais elle sera quelque chose pour les microscopes. Divisant donc par h les termes des fractions précédentes, & posant la demi-épaisseur du verre, ou $\frac{x^2}{2r} = e$, & posant $\frac{x}{h} = 0$, on trouvera $\frac{1}{B\varrho} = \frac{1}{2}\left(\frac{\phi}{x - \phi e} - \frac{\phi}{x - \phi e} + \frac{2}{R}\right) = \frac{1}{R}$, donc $B\varrho = R$. D'où il paroit que la distance $B\varrho$ *sera une constante, si la distance focale de la lentille* R, *ou le foyer des objets dans l'axe, est sans aberration.*

§. 45. Puisque $\pi\varrho : R\varrho = \frac{x(Rf - RF)}{fR + FR} : \frac{2FR \times fR}{fR + FR} = \frac{x}{2}\left(\frac{1}{FR} - \frac{1}{fR}\right) : 1$, donc $\pi\varrho = \frac{x}{2} \times R\varrho\left(\frac{1}{FR} - \frac{1}{fR}\right) = \frac{x \times B\varrho}{2}\left(\frac{1}{BF} - \frac{1}{Bf}\right) = \frac{Rx}{2}\left(\frac{\phi}{x - \phi e} + \frac{\phi}{x - \phi e}\right) = R\phi$. L'on peut sans crainte omettre la quantité ϕe; car supposant même le champ $= 36'$, & la demi-épaisseur $=$ une ligne, la quantité ϕe sera $= 0\ 01$ ligne. Or les ouvertures des lunettes acromatiques sont assez considérables; donc $x - 0{,}01 = x$. Il paroit donc que *l'autre ligne* $\pi\varrho$ *est aussi constante, si la distance focale* R *est sans aberration.* D'où il s'ensuit que l'aberration des foyers des objets dans le plan qui passe par l'axe sera nulle, si celle du foyer des rayons voisins de l'axe est détruite.

§. 46. Parce que $\pi\varrho = R\phi$, & $R\varrho$ ou $B\varrho = R$, l'angle $\pi R\varrho$ sera $= \phi = PRp$. De là nous tirons la maniere de déterminer les lieux des images de l'objet. Qu'on mene par le centre de la lentille & par l'objet P la ligne $PR\pi$; qu'on éleve au foyer de la lentille ϱ, la perpendiculaire $\pi\varrho$ où celle-ci rencontre la ligne $P\pi$ en π sera le foyer de tous les rayons qui par- Fig. 8.

tent du point P, ou le lieu de l'image du point P. Je ſais bien que de ſavans Géometres ont trouvé à redire à cette maniere de déterminer les lieux des images; mais il me ſemble qu'elle découle ſi naturellement de mes recherches, lesquelles ne ſont pas fondées ſur des calculs auſſi compliqués que ceux dont d'autres ſe ſont ſervis. D'ailleurs cette méthode s'accorde parfaitement bien avec la maniere de déterminer le champ des lunettes. Si on la rejette donc, je ne vois plus de moyen de définir le champ, dont l'explication eſt cependant fondée ſur l'explication, * comme je l'ai fait voir. (§. 14.)

Fig. 9. §. 47. Le ſecond cas, lorſque le point P ſe trouve hors du plan de l'axe, ſe réduit au cas précédent. Qu'on poſe un plan par le point P, parallele au plan de l'axe. Il ſe fera une ſection circulaire $LMNm$, ſemblable à celle qui paſſe par le milieu de la lentille. La diſtance focale des rayons paralleles qui viennent de Q & tombent ſur la ſection, eſt $= R \times \text{coſin}\, CL$. La ligne Pc, tirée par le centre c de cette ſection, ſera l'axe des rayons du point P hors de l'axe. Donc ces rayons ſe réuniront derriere la ſection $LMNm$, à une diſtance $= R\psi \times \text{coſin}\, CL$. Or l'arc CL eſt conſtant pour chaque ſection; d'où il s'enſuit que toutes les parties de l'objet ſeront *dépeintes ſans aberration*, *pourvu que le foyer des rayons voiſins de l'axe*, *ou le foyer de la lentille*, *ſoit ſans aberration*.

ARTICLE QUATRIEME.

Des verres oculaires.

§. 48. Il eſt étonnant que les Opticiens ayent fait ſi peu de recherches ſur les oculaires. Je ne connois que Mr. *d'Alembert* qui ait entrepris cette matiere; mais il s'en faut beaucoup qu'elle ſoit épuiſée. J'ai fait à l'occaſion du prix propoſé par l'Académie pluſieurs recherches & expériences ſur la diſpoſition des oculaires. Croyant avoir établi la théorie des oculaires, je la vis, mais preſque trop tard, lutter contre l'expérience. Ce n'eſt qu'au mois de Novembre que je me crus aſſez heureux pour avoir atteint au but. Mais le peu de tems qui me reſtoit pour achever ma tâche, & mes occupations, ne m'ont pas permis de mettre la derniere main à l'ouvrage. Je ne donne qu'une légere eſquiſſe d'une théorie que j'ai raiſon de préférer à d'autres, me réſervant l'honneur de préſenter à l'illuſtre Compagnie des recherches plus finies.

§. 49. L'on ne tire ordinairement de la multiplication des oculaires d'autre uſage que celui d'aggrandir le champ. Or ſi les oculaires ne promettoient

d'autres

* Voici encore un paſſage qui nous paroit défectueux.

d'autres avantages, il seroit facile de les bien disposer. Mais n'en faudroit-il pas faire usage pour forcer le grossissement, pour diminuer l'aberration de sphéricité, ou du moins pour ne la pas augmenter? Enfin ne faudra-t-il pas faire attention à l'aberration des couleurs que les oculaires mal disposés devroient reproduire? Je laisserai d'abord à l'écart le champ, parce que c'est ce qu'il y a de plus facile à déterminer, & je commencerai par le grossissement. Soit le foyer de l'objectif AA en F; les oculaires BB, CC &c. soient placés en sorte que les foyers conjugués se trouvent en R, r, ϱ. L'on sait que le grossissement s'exprime alors par la quantité $M = \frac{NF}{F\alpha} \times \frac{\alpha R}{R\beta} \times \frac{\beta r}{r\gamma}$ &c. Fig. 1.

§. 50. Considérons d'abord la combinaison de deux oculaires. Soit la distance focale de l'objectif ou $NF = Q$, la distance du premier oculaire BB au foyer F ou $\alpha F = a$, la distance focale de l'oculaire $BB = R$, celle du second oculaire $CC = r$. Pour que les rayons entrent parallélement dans l'œil, il faut qu'il soit $R\beta = r$. A cause de $\alpha R = \frac{aR}{a \pm R}$, (selon que l'oculaire BB est en dedans ou en dehors du foyer F, ou que les rayons entreront dans l'oculaire BB en convergeant ou divergeant), le grossissement ou M sera $= Q \times \frac{R}{a \pm R} \times \frac{1}{r}$. Pour effectuer donc un grossissement considérable, il faut prendre $\frac{R}{a - R}$ pour $\frac{R}{a + R}$, c'est à dire qu'il faut placer l'oculaire convexe BB hors du foyer de l'objectif, comme la Figure l'indique. Il me paroit juste qu'il faudra éloigner du moins à une ligne le foyer de l'oculaire de celui de l'objectif, parce qu'il seroit à craindre que les rayons ne sortissent parallélement de l'oculaire à cause de la proximité des foyers.

Qu'on choisisse le premier oculaire de 6 lignes, sa distance $\alpha F = a$ sera donc pour le moins de 8 lignes; donc $\frac{R}{a - R} = 3$ lignes. Quoique les lunettes acromatiques comportent des oculaires de 3 à 4 lignes, il vaut mieux en combiner d'un plus grand foyer. Soit donc $r = 6$ lignes; ainsi le grossissement sera $= \frac{Q}{2} = M$, lorsqu'on exprime Q & les autres quantités en lignes. Il faut remarquer que nous rapporterons toujours la quantité du grossissement à la distance focale de l'objectif, exprimé en lignes. La longueur de l'ajutage des deux oculaires ou $L = a + \frac{aR}{a - R} + r = 3$ pouces 2 lignes. Or le grossissement de la lunette de *Dollond*, pourvue d'un seul oculaire, égale $\frac{Q}{3}$; d'où il paroit qu'on peut augmenter le grossissement moyennant deux oculaires.

Soit $R = 8$, donc, $a = 10$, & $\frac{R}{a - R} = 4$, & $M = \frac{2Q}{3}$, & $L = 4$ pouces 10 lignes.

Soit $R = 12$, donc, $a = 14$, & $\frac{R}{a - R} = 6$, & $M = Q$, & $L = 8$ pouces 8 lignes.

§. 51. Si l'on trouvoit par l'expérience, qu'il conviendroit mieux d'éloigner les foyers de l'objectif & du premier oculaire à 4 lignes, les grossissemens deviendroient plus petits pour les oculaires que nous venons d'indiquer.

Soit donc, comme auparavant, $x = 6$ lignes & $R = 6$, donc, $a = 10$ lignes, ainsi $\frac{R}{a - R} = 1,5$, & $M = \frac{Q}{4}$, & $L = 2$ pouces 9 lignes.

Soit $R = 8$, donc, $a = 12$, & $M = \frac{Q}{3}$, & $L = 3\frac{1}{2}$ pouces.

Soit $R = 12$, donc, $a = 16$, & $M = \frac{Q}{2}$, & $L = 5$ pouces 10 lignes.

Il faudra donc prendre le premier oculaire d'un plus grand foyer, pour produire dans ce cas un plus grand grossissement.

Soit $R = 16$, donc, $a = 20$, & $M = \frac{2Q}{3}$, & $L = 8$ pouces 10 lignes.

Soit $R = 24$, donc, $a = 28$, & $M = Q$, & $L = 16$ pouces 10 lignes.

Ces mêmes suppositions auront encore lieu, si le premier oculaire est concave, & qu'il entre en dedans du foyer de l'objectif; alors $aR = \frac{aR}{R - a}$, au lieu de $\frac{aR}{a - R}$, & par conséquent $R > a$.

§. 52. Il paroit par ces calculs préalables, que le premier oculaire devroit avoir un plus long foyer, si l'expérience montroit qu'il fallût éloigner les foyers de l'objectif & de l'oculaire à une plus longue distance. J'ai pourtant lieu de croire qu'une distance de deux lignes suffit pour éviter l'attouchement des foyers. Je m'en suis entr'autres convaincu lorsque j'ai eu la curiosité d'appliquer un excellent microscope de *Cust* à la lunette acromatique dont j'ai parlé plus haut. Je ne pouvois faire cette expérience que très imparfaitement, parce que je devois avoir grand soin de l'instrument qui appartient au Cabinet de Machines de - - -. J'adaptai les plus grands oculaires, marqués de N°. 6 & 5, qui sont de 8 à 7 lignes de foyer; car les autres oculaires ne réussissoient pas si bien. Je remarquai que la trop grande proximité des foyers de l'objectif & de la lentille du microscope produisoit de la confusion. Je l'ai remarqué de même avec des oculaires de deux à trois pouces. Je crus d'abord pouvoir proposer le microscope composé pour modele des oculaires, mais ayant rencontré quelques difficultés qu'il est difficile, mais non impossible pourtant de lever, je m'en suis tenu à la combinaison de deux oculaires, dont il sera bientôt fait mention.

§. 53. Quoique je ne soupçonne pas que le foyer du second oculaire, de six lignes, soit trop court même pour des lunettes de 7 à 8 pieds; il se pourroit pourtant que de plus longues lunettes demanderoient des oculaires d'un plus long foyer. J'ai vu une bonne lunette de *Dollond* de 30 pouces, destinée aux observations astronomiques. Elle portoit deux oculaires, dont le premier étoit convexo-plan; il approchoit d'une demi-sphere; sa distance focale étoit environ de 5 lignes. L'autre étoit de 4 lignes de foyer. La distance des deux oculaires étoit de $8\frac{1}{2}$ lignes. L'arrangement de ces oculaires confirme ce que j'ai avancé tantôt, qu'on peut combiner des oculaires d'un petit foyer pour de courtes lunettes. Pour ce qui concerne les longues lunettes, l'expérience nous l'apprendroit si les étrangers pouvoient se procurer du *Flintglaß*.

§. 54. Avant que d'entrer dans un plus grand détail sur la disposition de deux oculaires, il faut de toute nécessité examiner, si la disposition ne ramene pas l'aberration des couleurs; pour la prévenir, nous résoudrons le probleme suivant:

Déterminer les dimensions & l'arrangement de deux oculaires, de sorte qu'il n'en résulte point d'aberration de réfrangibilité, la distance focale de l'objectif & le grossissement étant donnés.

Pour résoudre ce probleme, considérons les deux oculaires comme un instrument à part, séparé de l'objectif, ce qu'il est permis de supposer, parce que l'ob-

Fig. 1. jectif est acromatique. Or les rayons sortent parallélement de la prunelle, & entrent parallélement dans le second oculaire CC; donc $R\beta = r =$ distance focale du second oculaire. Ces rayons se réuniront par la réfraction des deux oculaires au foyer F de l'objectif. Pour dissiper l'aberration des couleurs, il faudra résoudre l'équation suivante, $\frac{2\,dm}{(m-1)\,R} + \frac{r^2}{(\alpha R)^2} \times \frac{2\,d\mu}{(\mu-1)\,r} = 0$. Il paroit par cette équation, qu'un des deux oculaires doit être concave. Or il convient que le premier oculaire soit concave; il faut donc que R soit $= - R$. Alors $\alpha R = \frac{a R}{R - a}$, quand on enfonce le premier oculaire en dedans du foyer de l'objectif, afin que l'oculaire BB reçoive des rayons convergens. On aura donc $\frac{1}{R} = \frac{r\,(R-a)^2}{a^2 R^2} \times p$ (posant $p = \frac{d\mu}{\mu - 1} \times \frac{m-1}{dm}$). Le grossissement donné M est $= \frac{Q}{a} \times \frac{\alpha R}{r} = \frac{Q}{r} \times \frac{R}{R-a}$, d'où l'on déduit $r = \frac{Q}{M} \times \frac{R}{R-a}$, par conséquent $a^2 = \frac{Q}{M} \times (R-a)\,p$, ou enfin $R = \frac{M}{Q} \times \frac{a^2}{p} + a$, & $r = \frac{Q}{M}\left(1 + \frac{Q}{M} \times \frac{p}{a}\right)$. Si le premier oculaire étoit de *Crownglaß* & le second de *Flintglaß*, il y auroit p à peu près $= \frac{3}{2}$. Si l'on vouloit donc pousser le grossissement jusqu'à faire $M = Q$, exprimant Q, R, r, a, en lignes, on auroit $R = \frac{2}{3}a^2 + a$, & $r = 1 + \frac{3}{2a}$. Or l'on ne sauroit prendre a plus petit que d'une ligne. (§. 51.) Soit donc $a = 1$ ligne, il y aura $R = 1\frac{2}{3}$ ligne, & $r = 2\frac{1}{2}$ lignes. Si l'on vouloit produire le grossissement $M = \frac{Q}{2}$, il y auroit $R = 1\frac{1}{3}$, & $r = 8$ lignes. Il est évident que cet arrangement des deux oculaires est impraticable, parce que le premier oculaire est trop petit.

1) Soit donc $a = 2$ lignes, & $M = Q$, il y aura $R = 4\frac{2}{3}$ lignes, & $r = 1\frac{3}{4}$.

Il est facile de voir que le foyer du second oculaire devient dans ce cas trop court pour être de quelque usage.

2) Mais pour le grossissement $M = \frac{Q}{2}$, on aura $R = 3\frac{1}{3}$, & $r = 5$.

3) Si l'on pose $a = 2, 5$ lignes, & $M = \frac{Q}{2}$, il y aura $R = 4, 58$, & $r = 4\,4$.

§. 55. Il résulte des recherches précédentes, que l'aberration des couleurs empêche d'élever les lunettes au plus haut degré du grossissement, qui donneroit $M = Q$, parce qu'il faudroit employer des oculaires d'un foyer trop court. Les lunettes acromatiques fournissent, moyennant un seul oculaire, un grossissement $= \frac{Q}{3}$. Or par les lunettes qui n'ont pas plus de dix pieds de long, on pourroit produire un grossissement $M = \frac{Q}{2}$ moyennant les deux oculaires détaillés à la fin du §. précédent. Mais comme une lunette acromatique de dix pieds exige un oculaire de $3, 92$ lignes, il n'est gueres probable que des oculaires combinés de $4\frac{1}{2}$ lignes puissent s'appliquer à de plus longues lunettes. D'ailleurs les deux oculaires adaptés à l'objectif de *Dollond*, dont j'ai parlé §. 53, approchent assez des nôtres, ce qui me fait penser que l'arrangement de nos deux oculaires est compatible avec les lunettes tout au plus de 8 à 9 pieds. Voici le devis de la combinaison des deux oculaires pour produire le grossissement $M = \frac{Q}{2}$.

1) Le premier oculaire est de *Crownglaß*, il est concave, sa distance focale est $= 4, 58$ lignes $= R$.

2) L'ouverture peut être $= \frac{2\,R}{4} = 2, 29$ lignes.

3) Il doit être enfoncé dans le foyer de l'objectif à une distance de $2, 5$ lignes.

4) La distance focale du second oculaire est $= 4, 4$ lignes $= r$. Il est convexe & de *Flintglaß*.

5) Son ouverture peut être $= \frac{2}{4} r = 2, 2$ lignes.

6) La distance des deux oculaires est $= 9, 9$ lignes.

7) Le demi-champ est $= \frac{0,25 - 0,25}{M} = \frac{1,00}{Q}$. Ainsi une lunette de 5 pieds grossiroit, $\frac{720}{2} = 360$ fois & découvriroit un champ de 9 minutes.

§. 56. Mais ſeroit-il abſolument néceſſaire de faire attention à l'aberration des couleurs par rapport aux oculaires? Les ouvertures des oculaires n'étant que de 2 lignes, l'aberration des couleurs ne ſera que de $\frac{0,083}{58} = 0,0025$ pouces, par conſéquent dix fois plus petites que dans les lunettes de *Huygens*. (§. 28.) Si l'aberration de réfrangibilité ne nous oppoſoit aucun obſtacle, l'on pourroit ſans contredit pouſſer le groſſiſſement juſqu'à Q fois, moyennant les oculaires décrits dans le §. 20. Mais quel effet fera l'aberration de ſphéricité ſur les deux oculaires? C'eſt un point eſſentiel à examiner.

§. 57. Mr. *Jean Bernoulli*, habile Académicien de Berlin, rapporte dans ſes *Lettres aſtronomiques*, que Mr. *Dollond* le fils ne croit pas qu'on puiſſe diminuer les aberrations moyennant les oculaires. Premiérement, Mr. *Dollond* n'étant pas verſé dans l'Optique, de ſorte qu'il n'a reçu les devis des lunettes que par tradition, ne peut être appellé juge compétent dans cette affaire. En ſecond lieu, ſi le fils *Dollond* ſuit les idées de ſon célebre pere pour corriger l'aberration de ſphéricité moyennant des oculaires, je penſe qu'il n'en viendra jamais à bout. Ce fameux Opticien rapporte dans les *Tranſactions philoſophiques* 1753. Art. 14. qu'en multipliant les oculaires on partageroit l'aberration de ſphéricité comme par autant de ſurfaces. J'avoue que je n'en pénetre pas la raiſon. On verra plutôt par la ſuite que les oculaires mal combinés peuvent augmenter l'aberration du foyer de l'objectif. Nous enviſagerons donc les oculaires comme deſtinés, ſi non à diminuer l'aberration de ſphéricité, du moins à ne la pas rendre plus grande. Pour les ouvertures des oculaires, dont nous ferons tantôt uſage, j'ai remarqué que les demi-ouvertures doivent tout au plus égaler le tiers de la diſtance focale de l'oculaire, ſurtout ſi cette diſtance eſt de plus d'un pouce. Les oculaires d'un pouce, d'un pouce & demi, ſouffrent des ouvertures de 6, 9 lignes, c'eſt à dire que les demi-ouvertures égalent le quart des diſtances focales. Si l'on emploie des oculaires d'un plus long foyer, il faudra faire les demi-ouvertures égales à un cinquieme, ſixieme des diſtances focales. Généralement parlant, les oculaires d'un foyer court ſont préférables à ceux d'un long foyer, parce qu'on peut leur donner des ouvertures de 3 à 4 lignes, qui fourniront un champ aſſez étendu & qui ne rameneront pas l'aberration des couleurs.

§. 58. Nous ſuppoſons donc que le foyer de l'objectif eſt affecté de l'aberration de ſphéricité, parce qu'il eſt preſque impoſſible d'avoir une lunette ſans ce défaut.

Fig. 10. Soit donc Ff l'aberration du foyer de l'objectif. De cette aberration doit néceſſairement réſulter l'aberration Ro, par l'entremiſe de l'oculaire BB; par

conséquent aussi l'aberration latérale $o\omega$, laquelle sera apperçue sous l'angle $\frac{o\omega}{R\beta}$. Or il faut que cet angle $\frac{o\omega}{R\beta}$ soit tout au plus $= 3$ minutes. Or l'on sait par les principes de l'Optique, que $Ro = \frac{\alpha R^2}{F\alpha^2} \times Ff$. Soit $B\alpha =$ la demi-ouverture de l'oculaire $BB = \frac{R}{4}$, par conséquent l'aberration latérale, ou ωo, sera $= \frac{B\alpha}{\alpha R} \times \frac{\alpha R}{F\alpha^2} Ff = B\alpha \times Ff \times \frac{\alpha R}{F\alpha^2}$. Par conséquent l'angle de confusion $= \frac{\omega o}{R\beta} = \frac{B\alpha}{R\beta} \times Ff \times \frac{\alpha R}{F\alpha^2} = 3'$ ou $= q$.

1) Posons d'abord que le premier oculaire est concave, qu'il est enfoncé à la distance a au dedans du foyer de l'objectif; il y aura, $\alpha R = \frac{aR}{R - a}$. Si l'on veut pousser le grossissement jusqu'à $M = Q$, à cause de $M = Q \times \frac{R}{(R - a)r}$, il y aura $\frac{R}{(R - a)r} = 1$, donc $q = \frac{R}{4} \times Ff \times \frac{Ra}{r(R - a)a^2} = \frac{R}{4a} \times Ff$. Or q & Ff étant donnés, l'on aura le rapport entre R & a. Nous avons trouvé, $Ff = 0,0052$ pouces $= 0,0624$ lignes. Mais $q = 0,0008727$, donc $\frac{R}{a} = \frac{0,0034908}{0,0624}$, ainsi $a > R$. D'où il paroit que le premier oculaire ne peut être concave; ainsi, que l'aberration de sphéricité n'est pas compatible avec celle de réfrangibilité.

2) Recherchons donc la disposition des oculaires, lorsqu'ils ne sont pas acromatiques. Posons les deux oculaires convexes, en sorte que αR sera $= \frac{aR}{a - R}$. L'on aura comme auparavant $\frac{R}{a} = \frac{0,00349}{0,0624}$, ce qui est vrai parce que $a > R$; donc $R = 0,0056a$. Il paroit donc par ces calculs, qu'on ne sauroit élever le grossissement d'une lunette au terme de $M = Q$, à moins que l'aberration latérale ne devienne plus petite; ou bien que l'angle de la confusion tolerable pourroit être plus grand, parce que le rapport de $R : a$ est si prodigieusement

ou

grand, que le premier oculaire pourroit tout au plus être d'un foyer d'une ligne. On pourroit d'ailleurs approcher un peu plus du but, en donnant une plus petite ouverture au premier oculaire, qui ne feroit qu'un fixieme de R, ce qu'il conviendroit même de faire. Et même quand cette ouverture ne feroit qu'$\frac{1}{8}$ de R, l'on gagneroit beaucoup pour le champ, faisant la demi-ouverture du second oculaire $= \frac{1}{3}r$ (Voyez §. 14.). De plus prenant un angle $3\frac{1}{2}$ minutes au lieu de 3 minutes, il y auroit moyen d'approcher d'avantage du grossissement. Tout cela étant posé, l'on auroit $\frac{R}{a} = \frac{0,008246}{0,0624}$, donc $R = 0,132a$. Soit $a = 24$ lignes, l'on auroit $R = 3,148$. Mais comme l'ouverture du premier oculaire deviendroit trop petite $2 \times \frac{3,148}{8} = 0,78$ lignes, & que le foyer de l'oculaire ou $r = \frac{R}{a - R} = 1,2$ lignes seroit trop court, & que d'ailleurs l'on ne sauroit éloigner à une plus grande distance le premier oculaire du foyer de l'objectif, je me sens forcé de renoncer à l'espérance de produire le plus grand grossissement moyennant deux oculaires.

§. 59. Voyons donc si l'on ne peut produire le grossissement $M = \frac{Q}{2}$ moyennant deux oculaires. Pour ce cas il y aura $M = \frac{Q}{2} = Q \times \frac{R}{(a - R)r}$, ou $\frac{1}{2} = \frac{R}{(a - R)r}$, donc $r = \frac{2R}{a - R}$, par conséquent $q = \frac{R}{2} = \frac{Ff}{a} \times \frac{1}{8}$, posant comme tantôt la demi-ouverture $Ba = \frac{R}{8}$. Ainsi, posant aussi $q = 3\frac{1}{2}'$, il y aura $\frac{R}{a} = \frac{0,016492}{0,0624} = 0,264$; ou bien $R = 0,264a$. Soit donc $a = 20$ lignes, il y aura $R = 5,28$ lignes, & $r = 0,8$ lignes. Or la distance focale sera toujours $r = 2 \times \frac{0,264}{1 - 0,264} = 0,8$ lignes. On voit donc qu'on ne pourra atteindre au grossissement $M = \frac{Q}{2}$, moyennant deux oculaires, parce que le dernier verre aura un foyer trop court.

§. 60. Les lunettes de *Dollond* grossissent ordinairement $\frac{7}{24}Q$ fois les objets, c'est à dire, entre $\frac{1}{3}Q$ & $\frac{1}{4}Q$ fois. Nous aurons donc $M = \frac{7Q}{24} = Q \times \frac{R}{(a - R)r}$,

ou

ou $\frac{7}{24} = \frac{R}{(a - R)r}$, donc $r = \frac{24 R}{7(a - R)}$, & $q = \frac{7}{24} R \times \frac{Ff}{8a}$. Les autres suppositions demeurant les mêmes, il y aura $R = 0,452 a$, & $r = \frac{24}{7} \times \frac{0,452}{1 - 0,452} = 2,88$ lignes. Supposons la distance $a = 14$ lignes, il y aura $R = 6,328$ lignes. Comme cet arrangement nous paroit praticable pour des lunettes qui n'ont pas plus de 4 pieds de long, nous en donnerons le devis.

Les deux oculaires sont convexes, & de *Flintglaß*. *

1) Le premier oculaire doit être placé à une distance de 14 lignes en dehors du foyer de l'objectif, c'est à dire $F\alpha = 14$.

2) La distance focale du premier oculaire ou R est $= 6,32$ lignes.

3) Son ouverture $= 1,58$ lignes.

4) Sa distance au second oculaire ou $\alpha\beta = 11\frac{1}{2}$ lignes.

5) La distance focale du second oculaire $= 2,88$.

6) Son ouverture $= 1,92$ lignes.

7) Le champ $= \frac{2}{M}(0,125 - 0,3333) = \frac{48}{7Q} \times 0,2083$, qui sera de 14′ pour une lunette de 30 pouces, qui grossit $\frac{7Q}{24} = 105$ fois.

Comme deux oculaires convexes rendent la représentation droite, on pourroit les arranger à l'usage des lunettes terrestres, si l'on vouloit se contenter d'un champ de 20 ou 24 minutes. Les lunettes terrestres de *Dollond* grossissent environ $\frac{Q}{6}$ fois, en sorte qu'une lunette de 30 pouces grossiroit 60 fois. Pour ce cas, on aura $\frac{R}{(a - R)r} = \frac{1}{6}$, donc $r = \frac{6R}{a - R}$, & $R = 0,792 a$, $r = 8,41$ lignes.

Soit $a = 12$ lignes, il y aura $R = 9\frac{1}{2}$ lignes. Or cet arrangement des oculaires qui paroît être très propre à l'usage des lunettes, mérite d'être développé.

* Mr. *Dollond* applique quelquefois quatre oculaires de *Flintglaſs* aux lunettes terrestres. J'ai remarqué ci-dessus que l'oculaire verd diminue les couleurs.

1) Le premier oculaire doit être à 12 lignes de diſtance hors du foyer de l'objectif.

2) La diſtance focale du premier oculaire eſt de $9\frac{1}{2}$ lignes.

3) Son ouverture $= 2 \times \frac{R}{8} = 2{,}36$ lignes.

4) Sa diſtance au ſecond oculaire $=$ 3 pouces 9,6 lignes.

5) La diſtance focale du ſecond oculaire $= 8{,}41$ lignes.

6) Son ouverture $= 2 \times \frac{r}{3} = 5{,}6$ lignes.

7) Le champ $= \frac{2}{M}(0{,}105 - 0{,}3333) = \frac{12}{Q} \times 0{,}2083$, donc pour une lunette de 30 pouces le champ ſera de 24 minutes.

§. 61. Paſſons à la diſpoſition de trois oculaires. Nous la conformerons d'abord
Fig. 11. à l'aberration ſupportable de $3\frac{1}{2}'$. Le groſſiſſement fourni par trois oculaires ou M eſt $= \frac{Q}{\alpha F} \times \frac{\alpha R}{R\beta} \times \frac{\beta r}{r\gamma}$, ou $r\gamma = \varrho =$ diſtance focale du troiſieme oculaire. Nous avons dit que l'aberration tranſmiſe dans le foyer R du premier oculaire, ou que Ro eſt $= \frac{\alpha R^2}{F\alpha^2} \times Ff$. De l'aberration Ro réſulte l'aberration rm dans le foyer du ſecond oculaire, laquelle ſera $= Ff \times \frac{\alpha R^2}{F\alpha^2} \times \frac{\beta r^2}{R\beta^2}$. Par conſéquent la quantité de confuſion qui s'appercevra au foyer r par le dernier oculaire ſera $= \frac{m\mu}{\varrho} = \frac{Ff}{\beta r} \times \frac{C\beta}{\varrho} \times \frac{\alpha R^2}{F\alpha^2} \times \frac{\beta r^2}{R\beta^2} = Ff \times \frac{C\beta}{\varrho} \times \frac{\alpha R^2}{F\alpha^2} \times \frac{\beta r}{R\beta^2}$ $= q = 3\frac{1}{2}' = 0{,}0010182$. Soit la demi-ouverture du ſecond oculaire ou $C\beta = \frac{r}{8}$, & $Ff = 0{,}0624$. Donc $\frac{r}{\varrho} \times \frac{\alpha R^2}{F\alpha^2} \times \frac{\beta r}{R\beta^2} = 0{,}131$. Pour effectuer le plus grand groſſiſſement $M = Q$, il faut qu'on ait $\frac{1}{\alpha F} \times \frac{\alpha R}{R\beta} \times \frac{\beta r}{\varrho} = 1$. Par conſéquent $\frac{\alpha R \times r}{F\alpha \times R\beta} = 0{,}131$. Or $\alpha R = \frac{aR}{a \pm R}$, & poſant $R\beta = 6$, il y aura $\frac{r}{b} = 0{,}131 \times \frac{a \pm R}{R}$. Nous avons vu dans le §. 58, que la diffi-

culté de produire le plus grand grossissement au moyen de deux oculaires, consistoit à ne pouvoir rapprocher plus près b de r, car alors il n'y auroit que $\frac{r}{b}$ ou $\frac{R}{a} = 0,131$. Mais dans le cas des trois oculaires, elle paroit diminuer; car la fraction $0,131$ est attachée au facteur $\frac{a \pm R}{R}$; si ce facteur pouvoit être un nombre entier, comme 2 ou 3, on rapprocheroit d'avantage la quantité r de celle de b. Or il n'y a qu'à prendre $\frac{a + R}{R}$ pour cet effet, c'est à dire qu'il faudra enfoncer la premiere lentille en dedans du foyer de l'objectif, à la distance a. Soit donc $R = 6$, & $a = 2R = 12$, ou tout au plus $R = 7$, & $a = 2R = 14$. Je n'oserois éloigner l'oculaire à une plus grande distance du foyer de l'objectif, parce que je crois m'être apperçu que la vue s'affoiblit lorsqu'elle reçoit l'image au foyer à une trop grande distance. Cela étant posé, on aura $r = 3 \times 0,131 b$ ou $r = 0,393 b$. Mais le grossissement fournit, $1 = \frac{1}{\alpha F} \times \frac{\alpha R}{R \beta} \times \frac{\beta r}{\varrho} = \frac{R}{a + R} \times \frac{r}{(b - r)\varrho}$, ou bien $\varrho = \frac{1}{3} \times \frac{2}{3} = 0,22$ lign. Or le dernier oculaire étant d'un foyer trop court, il faudra renoncer encore au grossissement le plus grand.

§. 62. Les équations requises pour déterminer la disposition de trois oculaires, propre à donner le grossissement $M = \frac{Q}{2}$, sont les suivantes, $\frac{R}{a + R} \times \frac{r}{b - r} \times \frac{1}{\varrho} = \frac{1}{2}$ ou $\varrho = \frac{2R}{a + R} \times \frac{r}{b - r}$, & $r = 0,786 b$. Faisant $a = 2R$, on aura donc $\varrho = 2,44$ lignes. Or comme ce dernier oculaire n'est pas trop court pour les lunettes de 3 à 4 pieds, nous développerons le devis de ces trois oculaires.

Les trois oculaires sont convexes, & de *Flintglaß*.

1) Le premier oculaire doit être enfoncé à une distance de 14 lignes en dedans du foyer de l'objectif.
2) La distance focale du premier oculaire $= 7$ lignes.
3) La distance focale du second oculaire ou r peut être de 12 lignes, donc $b = 15,27$ lignes.

4) La distance du premier au second oculaire est $= 4,66 + 15,27 =$ 20 lignes.

5) La distance focale du troisieme oculaire est $= 2,44$ lignes.

6) La distance du second au troisieme oculaire est $= 56 + 2,44 = 4$ pouces 10,44 lignes.

7) La longueur du porte-oculaire est de 6 pouces 6,44 lignes.

8) Les ouvertures du premier, second, troisieme oculaire, sont 3,5 lignes $= 2 \times \frac{R}{4}$, 3 lignes $= 2 \times \frac{r}{8}$, & 1,62 lignes $= 2 \times \frac{\varrho}{3}$.

9) Le champ est $= \frac{2 \times 2}{Q}(0,25 - 0,125 + 0,3333) = \frac{2,3332}{Q}$. Ce champ sera de 22 minutes pour une lunette de 30 pouces qui grossit 180 fois $= \frac{360}{2}$.

§. 63. Comme nous avons passablement réussi pour le grossissement $M = \frac{Q}{2}$, au moyen de trois oculaires, il n'est pas douteux que nous ne réussissions encore mieux à effectuer un moindre grossissement. Nous avons parlé au §. 60, du grossissement ordinaire des lunettes acromatiques, qui donne $M = \frac{7Q}{24}$. Mais posons-le plus grand, savoir $M = \frac{Q}{3}$. Supposons, comme auparavant, $a = 2R$, & nous aurons $\frac{1}{3} \times \frac{r}{(b - r)} \times \frac{1}{\varrho} = \frac{1}{3}$, ou $\varrho = \frac{r}{b - r}$, & $r = 1,179b$. Voilà donc une autre disposition des oculaires, qui exige $r > b$. On peut satisfaire de deux façons à cette condition, ou en employant un oculaire concave, qui sera enfoncé au-dedans du foyer conjugué du premier oculaire; alors il sera $\varrho = \frac{r}{r - b}$. Ou il faudroit que le second oculaire fût convexe & qu'il fût aussi enfoncé au dedans du foyer du premier oculaire; il y auroit alors $\varrho = \frac{r}{r + b}$. Or l'on voit d'abord que dans le second cas la distance focale du dernier oculaire deviendroit trop petite. Arrêtons-nous donc au premier cas. Posons, comme auparavant, $a = 14$, $R = 7$, donc $aR = \frac{aR}{a + R} = 4,73$. Comme il faut enfoncer l'oculaire concave CC au dedans de la distance focale & conjuguée αR, il faudra, pour le moins, éloigner ces deux oculaires à une ligne de distance. Alors b seroit $= 4,73 - 1 = 3,73$, donc, $r = 1,179 b = 4,4$ lignes, par conséquent $\varrho = \frac{1,179}{0,179} = 6,6$ lignes. Nous aurons tantôt occasion de revenir à ce cas.

2) L'on pourroit aussi composer un bel assemblage de trois oculaires, qui seroit peut-être préférable au précédent, si l'on posoit $a = R$. Alors l'on trouveroit $\frac{a+R}{R} = 2$, &, $r = 2 \times 3 \times 0,131 b = 0,786 b$, & $\varrho = \frac{3}{2} \times \frac{r}{b-r} = 5,52$ lignes. Le second oculaire sera encore convexe. L'on pourroit prendre, $a = 8 = R$ lignes, & $b = 16$, donc $r = 10,5$ lignes. Voici le devis de ces trois oculaires convexes qui produisent le grossissement $M = \frac{Q}{3}$.

1) Le premier oculaire doit être enfoncé à la distance de huit lignes, au dedans du foyer de l'objectif.

2) La distance focale du premier oculaire est de huit lignes.

3) Sa distance au second oculaire $= 4 + 16 = 20$ lignes.

4) La distance focale du second oculaire $= 10\frac{1}{2}$ lignes.

5) Sa distance au troisieme oculaire $= 30,55 + 5,52 = 3$ pouces.

6) Le troisieme oculaire a $5,52$ lignes de foyer.

7) La longueur du porte-oculaire, est de 4 pouces 8 lignes.

8) Les ouvertures sont $5,55 = 2 \times \frac{R}{3}$ lignes, $2,62 = 2 \times \frac{r}{8}$ lignes, & $3,84 = 2 \times \frac{\varrho}{3}$ lignes.

9) Le champ est $= \frac{2 \times 3}{Q} (0,3333 - 0,125 + 0,3333) = \frac{3,24996}{Q}$.
Le champ d'une lunette de 5 pieds, qui grossiroit 240 fois, seroit de 15 minutes. Nous parlerons ci-dessous de l'arrangement de trois oculaires pour l'usage des lunettes terrestres.

§. 64. Examinons auſſi la diſpoſition de trois oculaires, qui les mettroit à l'abri de l'aberration des couleurs.

En ſuivant la route que j'ai tenue dans le §. 54, il me faudra réſoudre l'équation ſuivante,

Fig. 1.

$$\frac{dm}{(m-1)R} + \frac{\varrho^2}{\beta r^2} \times \frac{dn}{(n-1)r} + \frac{\varrho^2}{\beta r^2} \times \frac{R\beta^2}{\alpha R^2} \times \frac{dm}{(m-1)\varrho} = 0.$$

Cette équation nous donne à connoître qu'un des trois oculaires doit être concave. Or il convient que celui du milieu ſoit concave ſelon le §. précédent. Soit donc r négatif, par conſéquent $\frac{1}{R} + \frac{\varrho}{\beta r^2} \times \frac{R\beta^2}{\alpha R^2} = \frac{\varrho^2}{\beta r^2} \times \frac{p}{r}$ (poſant $\frac{dn}{n-1} \times \frac{m-1}{dm} = p$). Suppoſant la diſpoſition du premier oculaire donnée conformément au §. précédent, nous ſerons en état de déterminer les inconnues r & b. Nous avons vu que r dépend de b; p. e. que $r = 1,179b$ ou généralement, ſoit $r = nb$, où n eſt donné, donc ϱ ſera auſſi connu. Subſtituant pour βr, $R\beta$, αR, les valeurs $\frac{br}{r-b}$, b, $\frac{aR}{a+R}$, on trouvera mettant $r = nb$, l'équation ſuivante:

$$\frac{1}{R} + \frac{\varrho}{n^2 a^2 R^2}(n-1)^2(a+R)^2 = \frac{\varrho^2}{n^3 b^3}(n-1)^2 p.$$

D'où l'on tire,

$$b = \sqrt[3]{\frac{(\varrho R n a)^2 (n-1)^2 p}{n^3(n^2 a^2 R + \varrho(n-1)^2(a+R)^2)}}.$$

Soit donc comme dans le §. précédent, $a = 14$, $R = 7$, $n = 1,179$, $p = \frac{3}{2}$, donc $\varrho = 6,6$, on trouvera, $b = 2$ lignes, donc $r = 2,358$ lignes. Or comme cette diſtance focale eſt trop petite, l'on ne pourra tirer aucun parti de cette ſolution pour le groſſiſſement $M = \frac{Q}{3}$. Il vaudra donc mieux s'en tenir au devis propoſé.

§. 65. Il paroit ſuivre de l'équation de l'aberration de couleurs que l'aberration pourra être détruite au moyen de trois oculaires de la même matiere. En effet il n'en réſulte aucun inconvénient, poſant $p = 1$. Je ne doute auſſi nullement, qu'on ne vînt à bout de conſtruire un objectif acromatique, compoſé de verres de la même matiere, en les éloignant à de certaines diſtances les uns des autres. Mais comme il ne ſeroit pas à propos de communiquer à l'Académie les recherches que j'ai faites sur ce sujet, je peux pourtant hardiment avancer qu'on n'en tirera jamais les mêmes avantages que des objectifs composés de lentilles de différente matiere.

Appliquons plutôt notre attention à combiner trois oculaires à l'usage des lunettes terrestres. Comme nous supposons que l'oculaire du milieu est concave, cet arrangement des oculaires fera paroître les objets droits. Pour les lunettes terrestres, il y a $M = \frac{Q}{6}$.

Nous aurons donc $\frac{r}{b} = 6 \times 0,131 \frac{a + R}{R} = 0,786$. Or pour rendre cet arrangement praticable, soit $a = 12$, $R = 8$, donc $\frac{a + R}{R} = 2,5$, & $r = 1,965 b$, par conséquent $\varrho = 6 \times \frac{2}{5} \times \frac{1,965}{0,965} = 4,8$ lignes. Si le premier & dernier oculaire sont de *Crownglaß* & celui du milieu de *Flintglaß*, on trouve $b = 2,5$, donc $r = 4,912$ lignes. Il est à craindre que cet arrangement ne contienne des oculaires d'un trop petit foyer pour les objets terrestres.

Si l'on ne veut pas absolûment faire attention à l'aberration des couleurs, il y a moyen de rendre cet arrangement des oculaires plus assortissant. Qu'on pose $a = 12 = R$, il y aura $r = 1,572 b$, & $\varrho = 6 \times \frac{1}{2} \times \frac{1,572}{0,572} = 8,2$ lignes. Comme la distance $\alpha R = 6$ lignes, on pourra prendre $b = 5$, donc $r = 7,86$. Voici le devis de ces trois oculaires de *Flintglaß*.

1) Le premier oculaire doit être enfoncé à la distance de 12 lignes au dedans du foyer de l'objectif.

2) Le premier oculaire a 12 lignes de foyer.

3) Sa distance au second oculaire est d'une ligne.

4) Le second oculaire a 7,86 lignes de foyer; il est concave.

5) La distance du second oculaire au troisieme est de 22 lignes.

6) La distance focale du troisieme oculaire est de 8,2 lignes.

7) Toute la longueur du porte-oculaire n'est que de 23 lignes.

8) Les ouvertures des trois oculaires sont, $5 = 2 \times \frac{R}{5}$ lignes, $3,3 = 2 \times \frac{r}{3}$ lignes, & $4,1 = 2 \times \frac{\varrho}{4}$ lignes.

9) Le champ est $= 2 \times \frac{6}{Q} (0,2 + 0,3333 + 0,25) = \frac{8,3996}{Q}$. Le champ d'une lunette de 30 pouces qui grossit 60 fois, sera de $1^\circ, 20'$.

Cet arrangement mérite de l'attention, parce qu'il découvre un champ considérable, & que le porte-oculaire est si court.

§. 66. Je finirai l'article sur les oculaires par la disposition de quatre oculaires. Quoique l'assemblage de quatre oculaires nous paroisse approcher de la plus grande amplification, je crains fort qu'on ne rencontre des obstacles du côté physique. La lumiere du jour est sans doute assez forte pour ne pas s'affoiblir sensiblement dans son passage par quatre oculaires; il est même quelquefois avantageux d'en diminuer le trop de clarté par la multiplication des verres. Ce n'est pourtant pas le même cas des observations célestes, qu'il faut faire à une moindre clarté. J'ai fait là-dessus une expérience qui m'a rendu très suspect l'assemblage des quatre oculaires pour entreprendre des observations astronomiques. J'ai observé l'éclipse de Lune du 23 d'Octobre de cette année, avec la lunette acromatique de 28 pouces, garnie de quatre oculaires, qui appartient au Cabinet - - -. J'avois aussi préparé une lunette ordinaire de neuf pieds, à laquelle je n'avois adapté qu'un oculaire de $2\frac{3}{4}$ pouces, quoiqu'elle pût comporter un oculaire de 2 pouces. Cette lunette ainsi préparée représente les objets, j'ose le dire, avec une netteté pareille aux lunettes acromatiques. Lorsque je comptois voir la fin de l'éclipse par la lunette acromatique, une personne peu instruite dans les observations astronomiques me dit qu'elle voyoit encore un trait d'ombre sur le bord de la Lune. En effet elle avoit raison. Je regardai d'abord par l'une & l'autre lunette, & je fus convaincu que les quatre oculaires cachoient la pénombre de la Lune, qui cependant étoit assez forte. Je manquai volontiers l'observation de la fin de l'éclipse, pour ne pas laisser échapper une si belle occasion de m'assurer qu'il est du moins difficile de se servir de quatre oculaires pour les observations astronomiques.

§. 67. Malgré le peu de succès que les quatre oculaires promettent aux Astronomes, je vais pourtant indiquer les dimensions de quatre oculaires pour les amplifications $M = \frac{2Q}{3}$, & $M = \frac{Q}{2}$.

Soit

Soit $c = \varrho\gamma =$ diſtance du foyer conjugué du ſecond oculaire au troiſieme, & $\theta =$ diſtance focale du quatrieme oculaire, le reſte demeurant comme auparavant, le groſſiſſement $M = \frac{2Q}{3}$, pour fournir les équations ſuivantes

$$\frac{\varrho}{c} = \frac{3}{2} \times 0,131 \times \frac{a + R}{R} \times \frac{b + r}{r},$$

&

$$\theta = \frac{3}{2} \times \frac{R}{a + R} \times \frac{r}{b + r} \times \frac{\varrho}{c - \varrho}.$$

Si l'on vouloit faire $2a = R$, & $\frac{1}{2}b = r$, l'on trouveroit $\theta = 2,54$ lignes; ce foyer ſeroit donc trop petit pour des lunettes de 6 à 7 pieds.

Mais ces mêmes ſuppoſitions fourniront des oculaires plus praticables pour le groſſiſſement $M = \frac{Q}{2}$; il y auroit alors $\frac{\varrho}{c} = 0,262 \times \frac{a + R}{R} \times \frac{b + r}{r}$, & $\theta = 2 \times \frac{R}{a + R} \times \frac{r}{b + r} \times \frac{\varrho}{c - \varrho}$. Soit $a = R$, & $\frac{2}{3}b = r$, il y aura $\varrho = 0,873c$, & $\theta = 7$ lignes. Voilà donc un aſſemblage d'oculaires qui peut s'appliquer à des lunettes même de 20 pieds.

Les quatre oculaires propres à produire le groſſiſſement $M = \frac{Q}{2}$.

1) Le premier oculaire doit être enfoncé au dedans du foyer de l'objectif à une diſtance de 12 lignes $= a$.

2) Le premier oculaire aura 12 lignes de foyer.

3) Parce que la diſtance $aR = 6$, on pourra prendre $b = 5$; donc la diſtance du premier au ſecond oculaire ſera d'une ligne.

4) Le ſecond oculaire aura $7\frac{1}{2}$ lignes de foyer.

5) Soit $c = 9$ lignes, la diſtance entre le ſecond & le troiſieme oculaire ſera $= 3 + 9 = 12$ lignes.

6) Le foyer du troiſieme oculaire eſt de 7,8 lignes.

7) La diſtance entre le troiſieme & le dernier oculaire eſt de 5 pouces 8 lignes.

8) Le dernier oculaire aura 7 lignes de foyer.

9) Les ouvertures des quatre oculaires peuvent être, $2 \times \frac{R}{8} = 3$ lignes, $2 \times \frac{r}{3} = 5$ lignes, $2 \times \frac{\varrho}{8} = 2$ lignes, & $2 \times \frac{\delta}{3} = 4\frac{2}{3}$ lignes.

10) Le champ sera $= \frac{2 \times 2}{Q} (0,3333 - 0,125 + 0,3338 - 0,125) = \frac{1,6664}{Q}$. Le champ d'une lunette de 20 pieds, qui grossiroit 1440 fois, seroit de deux minutes.

§. 68. Comme on combine ordinairement quatre oculaires avec les lunettes terrestres, nous tâcherons de déterminer plus exactement cet arrangement d'oculaires. Il seroit inutile de rechercher la disposition de quatre oculaires conformément à l'aberration des couleurs. Car l'équation de cette aberration demande pour le moins un verre concave. Mais alors la lunette représenteroit les objets renversés. On pourroit bien employer deux oculaires concaves pour redresser la représentation des objets; mais il suffira pour ces sortes de lunettes d'employer quatre oculaires convexes.

Cet arrangement des oculaires renfermant sept inconnues, & ne fournissant que deux équations, l'on risqueroit de faire des déterminations contraires à la pratique, si l'on ne consultoit pas l'expérience sur le choix des oculaires. C'est pourquoi je vais soumettre aux calculs de notre théorie le porte-oculaire de la lunette acromatique du Cabinet - - - les oculaires faisoient un bel effet.

En voici le devis. Le foyer de l'objectif est de 28 pouces, $= Q$, l'amplification de 56 fois, donc $M = \frac{Q}{6}$.

1) Le premier oculaire étoit enfoncé à la distance de six lignes au dedans du foyer de l'objectif.

2) Le premier a 24 lignes de foyer $= R$, donc $\alpha R = \frac{aR}{a + R} = 4,8$ lignes.

3) La distance du premier au second oculaire ou $\alpha\beta$ est $= 25$ lignes, donc $\beta R = b = 20,2$ lignes.

4) La distance focale du second oculaire est de 16 lignes $= r$, donc $\beta r =$ 72 lignes $= \frac{b\,r}{b - r}$.

5) La distance entre le second & le troisieme verre ou $\beta\gamma$ est $= 60$, donc $\gamma r = 12$ lignes $= c$.

6) La distance focale du troisieme oculaire $= \varrho = 24$ lignes, qui étoit enfoncé à 12 lignes en dedans du foyer conjugué r, donc $\gamma\varrho = \frac{c\,\varrho}{c + \varrho}$ $= 8$ lignes.

7) La distance focale du dernier oculaire $= 9\frac{1}{2}$ lignes $= \theta$.

8) La distance entre le troisieme & le quatrieme oculaire est $= 17\frac{1}{2}$ lignes.

9) La longueur du porte-oculaire est de 8 pouces 9 lignes.

10) L'ouverture du premier oculaire est $= 6$ lignes $= 2 \times \frac{R}{8}$, celle du second $= 6 = 2 \times \frac{r}{5}$, celle du troisieme $= 9 = 2 \times \frac{\varrho}{5}$, celle du dernier $= 6 = 2 \times \frac{\theta}{3}$.

11) Le champ $= \frac{2}{56}\,(0,125 - 0,200 + 0,2000 - 0,3333) =$ 26 minutes.

Je remarquai que la lunette ne pouvoit entiérement embrasser la pleine Lune du 23 Octobre, dont le diametre étoit de 30 minutes, en sorte que le champ aura été tout au plus de 28 minutes, ce qui s'accorde assez bien avec le calcul. Voyons si cette lunette s'écarte de notre théorie.

La demi-ouverture du troisieme oculaire étant $= \frac{\varrho}{5}$, laquelle nous avons supposée $= \frac{\varrho}{8}$, nos formules se changeront en celles-ci,

$$\frac{R}{a + R} \times \frac{r}{b - r} \times \frac{\varrho}{c} = 6 \times 0,082 = 0,492;$$

Or

$$\frac{1}{6} = \frac{R}{a + R} \times \frac{r}{b - r} \times \frac{\varrho}{\varrho + c} \times \frac{1}{\theta}.$$

Par conséquent

$$\frac{R}{a+R} \times \frac{r}{b-r} \times \frac{\varrho}{c} = \frac{4}{5} \times \frac{16}{4,2} \times \frac{24}{12} = 6.$$

Quoique la quantité trouvée soit douze fois plus grande qu'elle ne devoit être, ce résultat n'est pas si contraire à notre théorie, que s'il avoit été trouvé plus petit. Il faut donc que l'aberration en longueur soit plus petite que nous ne l'avons adoptée, savoir de 0, 0624 lignes, ou il faut que l'angle d'aberration puisse être plus grand que $3\frac{1}{2}$ minutes. D'ailleurs cet arrangement d'oculaires peut s'adapter à toutes sortes de lunettes. Car faisons attention à l'expression de l'amplification qui est $= \frac{28 \text{ pouces}}{\frac{1}{2} \text{ pouce}} \times \frac{\alpha R}{R\beta} \times \frac{\beta r}{r\gamma} \times \frac{\gamma\varrho}{\varrho\delta}$. D'où il paroit, parce que $28 : \frac{1}{2} = 56 =$ au grossissement de la lunette, que l'autre quantité $\frac{\alpha R}{R\beta} \times \frac{\beta r}{r\gamma} \times \frac{\gamma\varrho}{\varrho\delta}$, doit égaler l'unité. Or si l'on vouloit appliquer le porte-oculaire à une lunette de trois pieds, ou de quatre pieds, le grossissement seroit toujours $= \frac{Q}{6}$. C'est pourquoi nous proposerons ce porte-oculaire comme applicable à toutes les lunettes terrestres & acromatiques.

§. 69. Il ne nous sera pas difficile de donner un arrangement d'oculaires à notre théorie. Qu'on suppose $a = R$; donc $\frac{a+R}{R} = 2$, & $\frac{b-r}{r} = \frac{3}{4}$, ou $b = \frac{7r}{4}$; on aura $\varrho = 0,492 \times 2 \times \frac{3}{4}c = 0,738c$, par conséquent $\theta = 6 \times \frac{1}{2} \times \frac{4}{3} \times 2,8 = 11,2$ lignes.

Voici quel peut être le devis de ces quatre oculaires.

1) Le premier oculaire entre à une distance de 12 lignes au dedans du foyer de l'objectif.

2) Le premier oculaire a 12 lignes de foyer $= R$.

3) Le second oculaire a 12 lignes de foyer $= r$.

4) La distance du premier au second oculaire est $= 27$ lignes.

5) Posant $c = 16$ lignes, le troisieme oculaire a 11, 8 ou 12 lignes de foyer.

6) La diſtance entre le ſecond & le troiſieme oculaire eſt de 44 lignes.

7) La diſtance entre le troiſieme & quatrieme oculaire eſt de 4 pouces 11 lignes.

8) Le quatrieme oculaire a 11,2 lignes de foyer.

9) La longueur du porte-oculaire eſt de 11 pouces.

ÉCLAIRCISSEMENT NÉCESSAIRE
ſur les recherches précédentes.

§. 70. La méthode que nous avons ſuivie dans les recherches ſur les oculaires eſt fondée ſur pluſieurs ſuppoſitions qu'il eſt bon de réſumer.

1) Nous avons ſuppoſé que les oculaires eux-mêmes n'occaſionnent pas des aberrations de ſphéricité ſenſibles; car leurs aberrations ſont à celles des objectifs, à peu près en raiſon des diſtances focales. Nous avons ſeulement fait attention à l'aberration du foyer de l'objectif, propagée, pour ainſi dire, par l'entremiſe des oculaires. A moins que la théorie de l'aberration de ſphéricité, reçue parmi les Géometres, ne ſoit entiérement deſtituée de tout fondement, il faut abſolument que l'aberration du foyer de l'objectif cauſe une aberration dans celui de l'oculaire. Or ce n'eſt qu'aux aberrations des oculaires, cauſées par celle du foyer de l'objectif, que nous avons fait attention. Si l'on trouvoit donc par expérience, qu'on pût paſſer les termes preſcrits, comme dans l'arrangement des quatre oculaires détaillés dans le §. 68, je croirois que l'aberration de ſphéricité n'eſt gueres redoutable. Je dois pourtant avertir que je me ſuis plus ſouvent apperçu des effets de l'aberration de ſphéricité dans mes expériences ſur les oculaires, que des effets de l'aberration des couleurs.

2) Les arrangemens des oculaires que nous avons propoſés ſont fondés ſur l'angle d'aberration de $3\frac{1}{2}$ minutes.

3) Nous avons auſſi fondé nos recherches ſur l'aberration en longueur de 0,0624 lignes. Si l'on ne garde pas le rapport de l'ouverture de 40 lignes au foyer de la lunette de $43\frac{1}{2}$ pouces ou de 523 lignes, on trouvera pour chaque lunette une autre aberration. Or $\frac{40}{523} = 0,0764 Q$ nous donnera des ouvertures tout à fait différentes de celles que nous avons déduites de la clarté des lunettes, dans le §. 35. Les ouvertures

des lunettes de 30, 36, 48, 60, 72, 84 pouces feroient, felon ce que nous venons de dire, 1 pouce 9 lignes, 2 pouces 9 lignes, 3 pouces 8 lignes, $3\frac{1}{2}$ pouces, $5\frac{1}{2}$ pouces, $6\frac{1}{2}$ pouces. Ces ouvertures font plus petites que celles que nous avons trouvées dans le §. 35; mais la différence n'en eft pas affez confidérable pour que la clarté en pût être fenfiblement affoiblie. C'eft pourquoi nous confeillons de fubftituer ces dernieres ouvertures à celles que nous avons données plus haut.

ARTICLE CINQUIEME.

Application des recherches précédentes aux différentes fortes de lunettes, expofées dans les §§. 2. 3. 4.

§. 71. Quoique le fujet de cet Article ne paroiffe pas entrer dans le plan que l'Académie a expofé dans le programme du prix, il me paroit pourtant être de quelque importance pour fixer l'ufage des oculaires. Ayant établi dans le premier article différentes fortes de lunettes, je me fens obligé de faire voir quelle longueur il faut donner à chaque forte de lunettes, & avec quels oculaires il les faudra combiner. Cet article roule donc fur la conftruction des meilleures lunettes.

J'ai parlé en premier lieu des lunettes employées pour obferver les attouchemens des aftres, les Eclipfes de Jupiter &c. Ces lunettes doivent groffir 80 fois, & repréfenter très nettement les objets. Or une lunette de $43\frac{1}{2}$ pouces fupporte un oculaire de 3 lignes & groffit 172 fois, par conféquent en fe fervant d'un oculaire de $6\frac{1}{2}$ lignes, cette lunette doit fupérieurement bien repréfenter les objets, à caufe qu'on a employé un oculaire deux fois plus long que celui que l'objectif peut comporter. Comme on a diminué de moitié le groffiffement, on pourroit auffi donner à l'objectif une ouverture de 20 lignes au lieu de 40 lignes. Mais comme la lumiere que la lunette reçoit dans ces fortes d'obfervations eft foible, il faudra ménager à l'objectif une ouverture de 30 lignes.

Mais il conviendroit pour l'ufage des marins de leur fournir des lunettes plus maniables, conféquemment plus courtes. Une lunette acromatique de deux pieds groffit 110 fois, & fupporte un oculaire de $2\frac{1}{2}$ lignes. Adaptant à cet objectif un oculaire de 4 lignes, la lunette groffiroit 68 fois. Mais fi le marin pouvoit auffi aifément manier une lunette de $2\frac{1}{2}$ pieds, il y gagneroit encore pour la netteté. Car une telle lunette grossit 138 fois, & comporte un oculaire de 2, 6 lignes. Si l'on combinoit avec cet objectif un oculaire de 5 lignes, qui seroit presque double de l'autre, cette lunette ainsi ajustée grossiroit 72 fois & représenteroit les Eclipses de Jupiter avec une netteté extraordinaire. L'ouverture peut être de 25 lignes.

Comme on observe très bien les occultations des étoiles par la Lune avec une lunette ordinaire de 4 pieds, qui grossit 40 fois, on n'aura qu'à adapter un oculaire d'un pouce à un objectif de $43\frac{1}{2}$ pouces, ou un oculaire de 9 à 8 lignes à un objectif acromatique de $2\frac{1}{2}$ pieds. Les ouvertures pourroient être de 20 lignes.

§. 72. Les lunettes garnies d'un micrometre exigent plus d'attention, si elles doivent, selon Mr. de la Lande, faire l'effet d'un tube astronomique de 18 pieds, & d'ailleurs embrasser un champ assez vaste. Or l'on ne peut préparer pour ce dessein une lunette acromatique garnie d'un oculaire. Car une lunette acromatique de 7 pieds n'admet qu'un oculaire de 12, 6 lignes pour grossir 80 fois. Or si l'on donnoit à l'oculaire une ouverture de 6, 3 lignes, il ne découvriroit qu'un champ de 22 minutes. Je ne vois d'autres moyens de procurer à ces héliometres un plus grand champ, que de leur adapter l'assemblage des trois oculaires que j'ai décrits dans le §. 65. Il faudra donc adapter cet assemblage à une lunette de 6×80 ou 480 lignes ou 40 pouces, parce que ces oculaires grossissent $\frac{Q}{6}$ fois. Or ces oculaires découvrent un champ $= \frac{8,3996}{480} = 1$ degré, ce qui est assez grand pour embrasser les disques de la Lune & du Soleil. Mais resteroit à savoir, si l'assemblage des trois oculaires ne produiroit pas une parallaxe sensible sur les fils du micrometre.

§. 73. Il est facile de préparer une lunette acromatique propre à observer les Eclipses de Lune & de Soleil. (§. 5.) Une lunette de $2\frac{1}{2}$ pieds comporte un oculaire de 2, 6 lignes, & grossit 130 fois. Si l'on y substitue un oculaire de 6 lignes, qui sera deux fois plus grand que l'autre, la lunette grossira 60 fois, c'est à dire autant qu'une lunette ordinaire de 8 à 9 pieds. Elle représentera donc avec beaucoup de netteté les immersions & émersions des taches de la Lune, le commencement & la fin des Eclipses. Donnant 3 lignes d'ouverture à l'oculaire, la lunette découvrira un champ de 27 minutes.

Quoique la lunette que je viens de détailler, soit très propre à observer les Eclipses de Soleil, je voudrois donner à celles dont l'on se sert pour les Eclipses de Lune encore plus de perfection. Pour moi, il m'a toujours paru que les observations des émersions & immersions des taches de la Lune, le commencement & la fin des Eclipses, sont les plus incertaines en fait d'Astronomie. Pour perfectionner ces sortes de lunettes, il en faudroit employer qui grossissent 80 fois, & qui représentassent les phénomenes des Eclipses avec une netteté toute particuliere, ce qui se pourroit moyennant un oculaire dont le foyer seroit trois fois plus grand que celui que l'objectif comporte ordinairement. Qu'on choisisse une lunette de cinq pieds, qui grossit 220 fois, & qui comporte un oculaire de 3, 3 lignes. Or en lui substituant un oculaire de 9 lignes, la lunette grossiroit 80 fois & feroit l'effet désiré.

§. 74. La derniere classe des lunettes astronomiques contient celles qui grossissent considérablement pour faire des découvertes frappantes sur la surface des planetes. Il s'agit d'abord de savoir, à peu près, combien une lunette devroit grossir pour découvrir des ouvrages de l'art, p. e. des palais ou quelque chose de semblable. La distance moyenne de la Lune à la surface de la Terre est de 82460 lieues de France, chacune de 2282 toises. Posons donc un édifice lunaire ou quelque chose de semblable, dont la longueur fasse $\frac{1}{25}$ d'une lieue de France ou 91 toises, comme le *Louvre* à Paris. L'angle sous lequel nous voyons ce palais $= 1 : 2061500$. Or le terme de la vision étant de $30''$, il faudroit appercevoir ce palais du moins sous un angle d'une minute pour le pouvoir distinguer. Pour cet effet, l'angle $1 : 2061510$ devroit être 600 fois aggrandi. Mais nous avons remarqué ci-dessus que le terme de la vision distincte n'est pas le même pour tous les objets, il dépend de la clarté des objets. Or la clarté de la Lune n'est que la 1225^me partie de celle du jour. Posant donc le terme de la vision distincte de $30''$, à la lumiere du jour, le terme de la vision distincte pour les objets lunaires sera $= 30'' \times \sqrt[6]{1225} = 1', 38''$. Il faudra par conséquent voir l'objet lunaire pour le moins sous un angle double, savoir sous un angle de $3', 16''$, pour le pouvoir discerner. Pour que l'angle visuel de $1:2061510$ devienne égal à $3', 16''$, il faudra l'amplifier 1957 fois. Or une lunette acromatique de 40 pieds, fournie d'un oculaire, ne grossit que 1055 fois, d'où il paroit qu'on ne sauroit visiter les palais lunaires avec une telle lunette. Il faudroit donc s'appliquer à perfectionner les oculaires. Si l'aberration nous permettoit d'assembler les oculaires comme l'on voudroit, l'on pourroit se servir de l'arrangement de deux oculaires, exposé dans le §. 52, pour effectuer le grossissement $M = Q$. Par conséquent une lunette de 1957 lignes

de

de foyer ou de 13 pieds 7 pouces nous conduiroit aux palais de la Lune. Si quatre oculaires n'abſorboient pas trop de lumiere, l'on pourroit auſſi réuſſir moyennant la diſpoſition des quatre oculaires détaillés dans le §. 67, qui groſſiſſent $\frac{Q}{2}$ fois; par conſéquent ils devroient être appliqués à une lunette de 27 pieds 2 pouces. Tout ce que nous venons de dire fait aſſez voir les avantages qu'on pourra attendre des oculaires bien aſſortis, & les recherches qui reſtent à faire ſur cette matiere.

§. 75. Je paſſe aux lunettes terreſtres, lesquelles nous donneront moins de peine que les aſtronomiques. Il ſuffit qu'elles groſſiſſent 80 fois ou 60 fois. Ainſi on pourra appliquer les oculaires décrits dans le §. 68, à des lunettes de 3 pieds 4 pouces, de 3 pieds, ainſi de ſuite. Mais ces lunettes ne découvrent qu'un champ de 20 à 26 minutes; c'eſt pourquoi il vaudra mieux combiner avec les lunettes terreſtres les trois oculaires détaillés dans le §. 65, qui décelent un champ de 1°, 20'.

§. 76. Je finis par une lunette d'agrément, ſavoir par la lunette *de poche* ou *d'opéra.* Ces meubles devant être portatifs, ils ne doivent pas excéder la longueur de quatre pouces. Ils doivent d'ailleurs repréſenter les objets à peu près ſous la grandeur viſible, & découvrir un grand champ. J'indiquerai la maniere de les conſtruire avec un objectif ſimple. Soit $Q =$ la diſtance focale de l'objectif & $R =$ celle de l'oculaire. Pour rendre acromatique la lunette d'opéra, il faut qu'on ait, $\frac{dm}{m-1} \times \frac{1}{R} + \frac{Q^2}{R^2} \times \frac{dn}{(n-1)Q} = 0$. D'où l'on tire, $Q : -R = \frac{dm}{m-1} \times \frac{n-1}{dn} : 1$. D'où il s'enſuit 1) qu'un des deux verres doit être concave. Or il convient que l'oculaire ſoit concave. 2) L'objectif doit être de *Crownglaß* & l'oculaire de *Flintglaß;* car alors $Q > R$. Autrement R ſeroit $> Q$, & la lunette diminueroit les objets au lieu de les groſſir.

On trouvera donc $Q : R = 1{,}33° : 1$, donc le groſſiſſement $= \frac{Q}{R} = 1{,}330$, ainſi un peu plus grand que la grandeur apparente de l'objet. Etant donnée la longueur de la lunette ou $Q - R$, il ſera aiſé de la conſtruire. Soit la longueur $=$ 4 pouces $= Q - R$, il y aura $4 = 1{,}33 R - R$, donc $R =$ 12 pouces 1 ligne, & $Q =$ 16 pouces 1 ligne. On pourra donner à l'objectif une ouverture conſidérable ſans craindre l'aberration de ſphéricité. Mais une ouverture de 18 lignes ſuffit. L'oculaire peut avoir un pouce d'ouverture. Le champ ſera de 14°, $14'$.

Si la longueur de la lunette de poche eſt de $3\frac{1}{2}$ pouces, l'objectif aura 14 pouces de foyer, & l'oculaire 10 pouces 7 lignes. On donnera 16 lignes d'ouverture à l'objectif, & un pouce à l'oculaire. Le champ ſera de 16°, $16'$. On pourra encore facilement l'augmenter.

REMARQUE.

Le ſujet du Prix propoſé par l'illuſtre Académie eſt d'une ſi vaſte étendue que pour le bien traiter il faudroit compoſer un ſyſteme de Dioptrique, ou du moins compoſer une Diſſertation beaucoup plus longue que celle que j'ai l'honneur de lui préſenter. J'entreprendrai volontiers un tel Ouvrage, ſi cet eſſai étoit pour moi de bon augure. J'ai oublié de remarquer, au ſujet des oculaires, qu'il faut placer l'œil à une juſte diſtance derriere le porte-oculaire. Il eſt vrai qu'on peut la déterminer ſelon les principes connus. Mais comme la viſion nette & diſtincte dépend beaucoup de cette diſtance, je conſeillerai d'adapter un petit tuyau mobile, percé d'un trou d'une ligne ou d'une demi-ligne, au porte-oculaire, pour placer ce tuyau mobile à la portée de l'œil. Je m'en ſuis fort bien trouvé. D'ailleurs il faut avoir grand ſoin de bien centrer l'objectif & les oculaires. C'eſt un point eſſentiel pour la conſtruction des lunettes.

F I N.

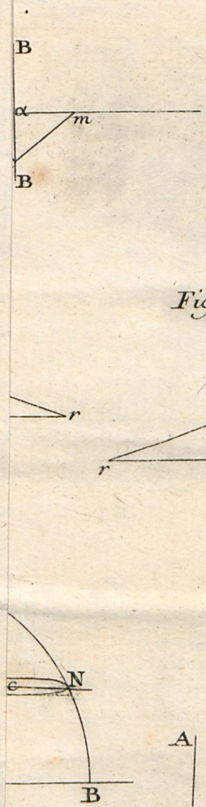


Fig. 3.

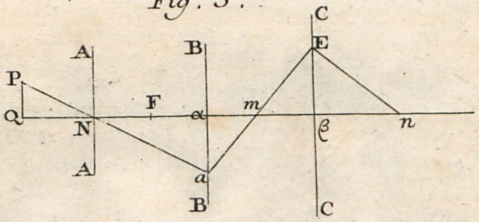


Fig. 6.

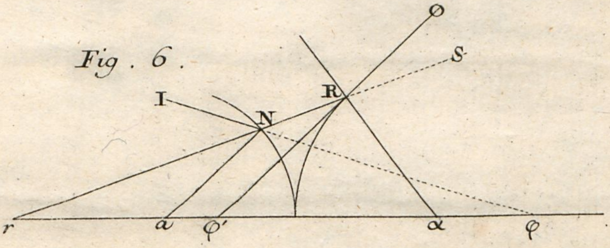


Fig. 10.

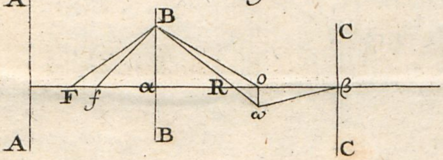


Fig. 11.

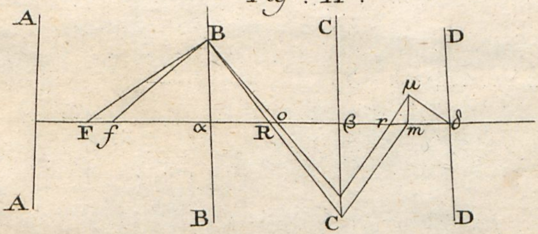


Fig. 1.

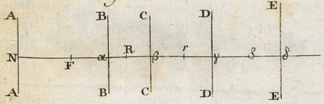


Fig. 2.

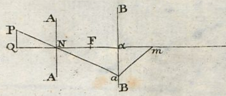


Fig. 3.

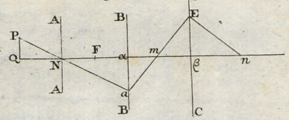


Fig. 4.

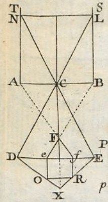


Fig. 5.

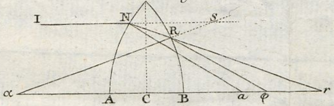


Fig. 6.

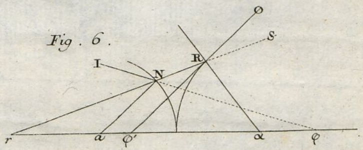


Fig. 8.

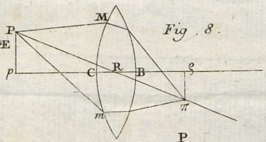


Fig. 10.

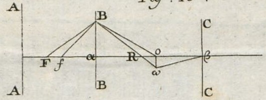


Fig. 9.

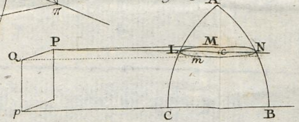


Fig. 7.

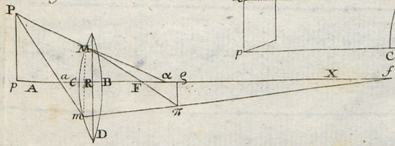
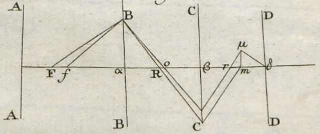


Fig. 11.



DISSERTATION

SUR

LES MOYENS

NER LA PLUS GRANDE PERFECTION POSSIBLE

AUX LUNETTES

NT LES OBJECTIFS SONT COMPOSÉS DE DEUX MATIERES,

QUI A REMPORTÉ LE PRIX

PROPOSÉ

PAR

ADÉMIE ROYALE DES SCIENCES

ET

BELLES-LETTRES

R L'ANNÉE MDCCLXXI, ADJUGÉ EN MDCCLXXII.

PAR M. HENNERT,

r en Mathématiques &c. à Utrecht, Membre de la Société des Sciences de Harlem &c.

A BERLIN,

HEZ CHRÉTIEN FRÉDERIC VOSS.

MDCCLXXIII.