1766

Recherches sur les microscopes à trois verres et les moyens de les perfectionner

Leonhard Euler

RECHERCHES

SUR

LES MICROSCOPES A' TROIS VERRES, ET LES MOYENS DE LES PERFECTIONNER.

PAR M. EULER.

1.

Puisque les microscopes composés de deux verres sont assujettis à deux grands inconvéniens, l'un quils ne découvrent qu'un très petit champ, & l'autre qu'il est impossible de les delivrer de l'eblouissement des couleurs d'iris, je commence mes recherches d'abord par les microscopes composés de trois verres placés en A, B, C, dont les distances de foyer soient p, q, r, & a la distance de l'objet devant le verre objectif A. Pour leurs ouvertures je pose le demi-diametre du premier $= x$, du second $= \pi q$, & du troisieme $= \pi' r$. Ensuite, posant le grossissement $= m$, rapporté à la distance l, qu'on estime de 8 pouces, & le demi-diametre du champ apparent $= \Phi$, de sorte qu'on découvre de l'objet une partie, dont le demi-diametre $= a\Phi$, on aura d'abord $-\frac{m}{l} = \frac{\Phi - \pi + \pi'}{a\Phi}$, donc $\Phi = \frac{\pi - \pi'}{ma + l}\,l$, & le degré de clarté sera $\frac{400\,llxx}{mmaa}$, la clarté naturelle de l'objet étant exprimée par l'unité. Fig. 1.

2. Ensuite, pour les grandes lettres A, B, qui servent à déterminer tous les élemens, je suppose

$$A = \frac{\mathfrak{a}}{1 - \mathfrak{a}}; \text{ ou } \frac{A}{1 + A} = \mathfrak{a}, \;\&\; B = \frac{-\mathfrak{b}}{1 + \mathfrak{b}}, \text{ ou } \frac{B}{1 + B} = -\mathfrak{b},$$

d'où je tire, selon mes formules expliquées dans le XIII Volume de nos Mémoires,

$$\alpha = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}}\,a; \qquad p = \mathfrak{a}\,a,$$

$$b = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{-\Phi}{\mathfrak{b}\pi+\Phi}\,a; \qquad \beta = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})} \cdot \frac{\Phi}{\mathfrak{b}\pi+\Phi}\,a; \; q = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{\Phi}{\mathfrak{b}\pi+\Phi}\,a,$$

$$c = \frac{-\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})} \cdot \frac{\Phi}{\pi'-\pi+\Phi}\,a; \quad \gamma = \infty; \qquad r = \frac{+\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})} \cdot \frac{\Phi}{\pi'-\pi+\Phi}\,a.$$

& partant les intervalles entre les verres sont:

$$AB = \alpha + b = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{\mathfrak{b}\pi}{\mathfrak{b}\pi+\Phi}\,a, \; \&$$

$$BC = \beta + c = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})} \cdot \frac{\Phi(\pi'-(1+\mathfrak{b})\pi)}{(\mathfrak{b}\pi+\Phi)(\pi'-\pi+\Phi)}\,a,$$

& la distance de l'oeil $CO = \frac{\pi'}{\pi'-\pi+\Phi} \cdot r.$

Or ces trois distances doivent être positives.

3. Maintenant, pour rendre le champ aussi grand qu'il est possible, soient les deux derniers verres B & C également convexes des deux côtés pour admettre la plus grande ouverture, & soit ω la plus grande valeur que les lettres π & π' peuvent recevoir, qu'on estime environ d'un $\frac{1}{4}$; je pose $\pi = \omega$, & $\pi' = -\omega$, de sorte que $\Phi = \frac{2\omega}{ma+l}\,l$, & partant le diametre de l'espace vu $= 2\Phi a = \frac{4\omega a l}{ma+l}$, ou bien $= \frac{al}{ma+l}$, à cause de $\omega = \frac{1}{4}$.

Outre cela, nous aurons $\mathfrak{b}\pi + \Phi = \left(\mathfrak{b} + \frac{2l}{ma+l}\right)\omega,$

&

& $\pi' - \pi + \phi = -\left(2 - \frac{2l}{ma+l}\right)\omega = \frac{-2ma}{ma+l}\omega$. Or, pour faire évanouir les couleurs d'iris, il faut satisfaire à cette équation:
$$\frac{-\pi}{\mathfrak{b}\tau+\phi} + \frac{\pi'}{\pi'-\pi+\phi} = 0, \text{ ou } \mathfrak{b}\tau + \phi = \frac{\pi}{\pi'}(\pi' - \pi + \phi),$$
& de là $\mathfrak{b} + \frac{2l}{ma+l} = \frac{2ma}{ma+l}$, donc $\mathfrak{b} = \frac{2(ma-l)}{ma+l}$.

4. Substituons ces valeurs dans nos formules trouvées pour les distances de foyer & les intervalles entre les verres, & nous trouverons:

$p = \mathfrak{a}a$. $\quad AB = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{ma-l}{m}$.

$q = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{l}{m}$. $\quad BC = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})} \cdot \frac{2l}{m}$.

$r = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})} \cdot \frac{l}{m}$. $\quad CO = \frac{ma+l}{2ma}r$.

Il ne reste à présent qu'à déterminer l'ouverture du verre objectif, dont le demi-diametre est $= x$; c'est à quoi nous conduit l'équation suivante.
$$\frac{1}{k^3} = \frac{mx^3}{aal}\left(\frac{\lambda + \nu\mathfrak{a}(1-\mathfrak{a})}{\mathfrak{a}^3} + \frac{(1-\mathfrak{a})^3(\lambda' - \nu\mathfrak{b}(1+\mathfrak{b}))}{\mathfrak{a}^3\mathfrak{b}^3} \cdot \frac{l}{ma} + \frac{(1-\mathfrak{a})^3(1+\mathfrak{b})^3\lambda''}{\mathfrak{a}^3\mathfrak{b}^3} \cdot \frac{l}{ma}\right),$$
où il faut remarquer, qu'à cause des verres B & C également convexes des deux côtés on a
$$\lambda' = 1 + 0{,}6149(2\mathfrak{b}+1)^2, \text{ \& } \lambda'' = 1{,}6149, \text{ \& } \nu = 0{,}2260.$$
C'est donc de cette formule qu'il faut déterminer x, & alors on aura le degré de clarté $= \frac{400llxx}{mmaa}$; or j'ai déjà remarqué, que dans la

con-

conſtruction des microſcopes on prend communément $\varkappa = 16$, quoiqu'il fut avantageux de lui donner une plus grande valeur.

5. Pour ramener ces formules à la pratique, je remarque d'abord, que si $a > \frac{l}{m}$, le nombre $\mathfrak{a}$ doit être plus petit que l'unité. Or, comme notre but principal dans la conſtruction des microſcopes composés eſt d'éviter la trop grande proximité des objets à l'objectif, il faut ſans doute que $a > \frac{l}{m}$. Poſons donc $a = \frac{nl}{m}$, où n marque un nombre plus grand que l'unité, & ſoit $\frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} = i$, & partant $\mathfrak{a} = \frac{i}{1+i}$; Enſuite $\mathfrak{b} = \frac{2(n-1)}{n+1}$, & $\frac{\mathfrak{b}}{1+\mathfrak{b}} = \frac{2(n-1)}{3n-1}$, donc $\lambda' = 1 + 0,6149\left(\frac{5n-3}{n+1}\right)^2$, d'où nos déterminations ſeront

$$p = \frac{in}{1+i}\cdot\frac{l}{m}; \qquad AB = i(n-1).\frac{l}{m}.$$

$$q = \frac{2i(n-1)}{n+1}\cdot\frac{l}{m}; \qquad BC = \frac{4i(n-1)}{3n-1}\cdot\frac{l}{m}.$$

$$r = \frac{2i(n-1)}{3n-1}\cdot\frac{l}{m}; \qquad CO = \frac{n+1}{2n}\,r = \frac{i(nn-1)}{n(3n-1)}\cdot\frac{l}{m}.$$

& la valeur de $\Phi = \frac{2\omega}{n+1}$, dont le diametre de l'eſpace que le microſcope découvre ſur l'objet ſera $= \frac{1}{n+1}a = \frac{n}{n+1}\cdot\frac{l}{m}$.

& la quantité x doit être déterminée par cette équation:

$$\frac{1}{\varkappa^3} = \frac{m^3x^3}{i^3n^3l^3}\left(\lambda n(1+i)^3 + \nu ni(1+i) + \frac{\lambda'(n+1)^3 - 2\nu(nn-1)(3n-1) + \lambda''(3n-1)^3}{8(n-1)^3}\right),$$

donc

donc, ſi tant n que i ſont des nombres paſſablement grands, on aura aſſés exactement $x = \frac{inl}{\varkappa n \sqrt[3]{(\lambda n(1+i)^3 + \nu ni(1+i))}}$,

& de là la clarté $= \frac{400xx}{nn} = \left(\frac{20il}{\varkappa m \sqrt[3]{n(\lambda(1+i)^3 + \nu i(1+i))}}\right)^2$.

qui dans le cas des microſcopes ſimples étoit $= \left(\frac{20l}{\varkappa m}\right)^2$.

6. Nous pourrons donc diſtinguer ces microſcopes en diverſes claſſes ſelon les valeurs du nombre n, par rapport auquel je remarque que, tant pour éloigner l'objet, que pour éviter les lentilles trop petites, il eſt bon de donner à ce nombre des valeurs conſidérables, mais d'un autre côté on perd alors ſur la clarté. Mais il faut bien renoncer à cet avantage pour pouvoir jouir du premier, qui eſt plus eſſentiel ſurtout dans les grandes multiplications, auxquelles j'ai ici principalement égard, & dans la ſuite je propoſerai des moyens de remédier auſſi à cet inconvénient. Pour le nombre i, il eſt permis à notre volonté, & on n'a qu'à le prendre en ſorte que les deux autres verres ne deviennent ni trop grands ni trop petit: & il ſemble que le verre oculaire C, lorsque ſa diſtance de foyer eſt d'un pouce convient le mieux à la pratique: alors le nombre i ſera très grand, d'où la figure la plus propre qu'on puiſſe donner à l'objectif, ſera celle que j'ai décrite ci-deſſus (§. 7.), qui fournit $\lambda = 1$, de ſorte que

$$\text{le rayon de la face} \begin{cases} \text{de devant} = 4,7982\,p \\ \text{de derriere} = 0,6085\,p, \end{cases}$$

Je ferai donc les hypotheſes ſuivantes

I. *Hypotheſe poſant* n = 3.

7. Nous aurons donc $a = 3\frac{l}{m} = \frac{24}{m}$ pouce, & les déterminations ſuivantes:

$p = \frac{3i}{1+i} \cdot \frac{l}{m} = \frac{24i}{(1+i)m}$; $\quad$ $AB = 2i. \frac{l}{m} = \frac{16i}{m}$ pouce.

$q = \; i. \; \frac{l}{m} = \frac{8i}{m}$; $\quad$ $BC = i. \frac{l}{m} = \frac{8i}{m}$

$r = \frac{i}{2} \cdot \frac{l}{m} = \frac{4i}{m}$; $\quad$ $CO = \frac{i}{3} \cdot \frac{l}{m} = \frac{8i}{3m}$

le diametre de l'espace vû $= \frac{3}{4} \cdot \frac{l}{m} = \frac{6}{m}$ pouce,

& $x = \frac{3il}{\varkappa n \sqrt[3]{(3(1+i)^3 + 3\nu i(i+1))}}$, & delà

$y = \frac{lx}{ma} = \frac{x}{3}$, d'où le degré de clarté $= 400yy = \frac{400xx}{9}$.

Prenons donc $i = \frac{m}{4}$, & nous aurons

$$x = \frac{3l}{\varkappa \sqrt[3]{(3(m+4)^3 + 12\nu m(m+4))}},$$

d'où, si le grossissement m est fort grand, à cause de $l = 8$, & $\varkappa = 16$, nous aurons assés près $x = \frac{1,04}{m+4}$: donc $y = \frac{0,35}{m+4}$, & le degré de clarté $= \frac{49}{(m+4)^2}$, & partant plus que deux fois plus petit que dans les microscopes simples. Les autres déterminations sont

$p = \frac{24}{m+4}$ pouce; $\quad$ $AB = 4$ pouce.

$q = 2$; $\quad$ $BC = 2$.

$r = 1$; $\quad$ $CO = \frac{2}{3}$.

I. TABLE

I. Table
des Microscopes.

Grossissement.	Distance de l'objet.	Du verre objectif: distance de foyer.	rayon de sa face: de devant.	rayon de sa face: de derriere.	Diametre de l'ouverture.	Diametre de l'espace vû.	Degré de clarté.
50	0,480	0,444	2,133	0,270	0,037	0,120	0,0169
75	0,320	0,304	1,458	0,185	0,025	0,080	0,0079
100	0,240	0,231	1,107	0,140	0,019	0,060	0.0045
125	0,192	0,186	0,893	0,113	0,015	0,048	0,0029
150	0,160	0,156	0,748	0,095	0,013	0,040	0,0020
175	0,137	0,134	0,644	0,082	0,011	0,034	0,0015
200	0,120	0,117	0,564	0,072	0,010	0,030	0,0012
250	0,096	0,094	0,453	0,058	0 008	0,024	0,0008
300	0,080	0,079	0,379	0,048	0,007	0 020	0,0006
350	0,069	0,068	0,325	0,041	0,006	0,017	0,0004
400	0,060	0,060	0,285	0,036	0,005	0.015	0,0003
500	0,048	0,048	0,228	0,029	0,004	0,012	0,0002

Ensuite la distance au second verre AB est toujours 4 pouces. La distance de foyer du second verre B est 2, & le rayon de chaque face = 2, 16 pouce, le diametre de son ouverture 1 pouce; de là la distance BC est 2 pouces, l'oculaire C a 1 pouce de foyer: donc le rayon de chaque face 1, 08, le diametre de son ouverture $\frac{1}{2}$ pouce, & de là jusqu'à l'oeil $\frac{2}{3}$ pouce.

II. Hypothese posant n = 7.

8. Nous aurons donc la distance de l'objet $a = \frac{7l}{m} = \frac{56}{m}$,

& le diametre de l'espace qu'on découvre sur l'objet $= \frac{7l}{8m} = \frac{7}{m}$,

& les autres déterminations:

Q 2 $\qquad p =$

$$p = \frac{7i}{1+i} \cdot \frac{l}{m} = \frac{56i}{(1+i)m}; \qquad AB = 6i \cdot \frac{l}{m} = \frac{48i}{m}.$$

$$q = \frac{3i}{2} \cdot \frac{l}{m} = \frac{12i}{m}; \qquad BC = \frac{6i}{5} \cdot \frac{l}{m} = \frac{48i}{5m}.$$

$$r = \frac{3i}{5} \cdot \frac{l}{m} = \frac{24i}{5m}; \qquad CO = \frac{12i}{35} \cdot \frac{l}{m} = \frac{96i}{35m}.$$

d'où je prendrai $i = \frac{5m}{24}$ pour avoir $r = 1$, & $q = 2\frac{1}{2}$ pouces, ou bien:

$$p = \frac{280}{5m+24} \text{ pouce}; \qquad AB = 10 \text{ pouces}.$$

$$q = 2\tfrac{1}{2}; \qquad BC = 2.$$

$$r = 1; \qquad CO = \tfrac{4}{7}.$$

$$\& \quad x = \frac{7i}{2m\sqrt[3]{7((1+i)^3 + vi(1+i))}},$$

d'où $y = \frac{lx}{ma} = \frac{x}{7}$, & le degré de clarté $= 400yy$. Or, si le grossissement m est très grand, on aura assés exactement

$$x = \frac{35}{2(5m+24)\sqrt[3]{7}} = \frac{9,15}{5m+24},$$

& $y = \frac{1,30}{5m+24}$, donc $20y = \frac{26}{5m+24}$, dont le quarré exprime le degré de clarté.

II. Table

II. Table

des Microſcopes.

Groſſiſſement, m	Diſtance de l'objet.	Du verre objectif diſtance de foyer.	rayon de ſa face de devant.	rayon de ſa face de derriere.	Diametre de l'ouverture.	Diametre de l'eſpace vû.	Valeur de 20y.
50	1,120	1,012	4,885	0,620	0,063	0,140	0,092
75	0,747	0,700	3.359	0.426	0,044	0,093	0,064
100	0,560	0,533	2,559	0,325	0,033	0,070	0,048
125	0 448	0,431	2.067	0,262	0.027	0,056	0.039
150	0,374	0.362	1,734	0.220	0,023	0,047	0,033
175	0,320	0,311	1,493	0,189	0.019	0,040	0,028
200	0,280	0.273	1,211	0,166	0,017	0 035	0,025
250	0,224	0,219	1,054	0,134	0 014	0 028	0,020
300	0,187	0.184	0,851	0.112	0.011	0 024	0,017
350	0,160	0,158	0.757	0,096	0,010	0.020	0.014
400	0,140	0,138	0,663	0,084	0 009	0,018	0,012
500	0,112	0,111	0.532	0.068	0 007	0,014	0,010
600	0.093	0,092	0 444	0,056	0 006	0,012	0,008
700	0,080	0 079	0 381	0.048	0,005	0.010	0,007
800	0,070	0,070	0,334	0,042	0 004	0 009	0,006
900	0,062	0 062	0 295	0 038	0,004	0,008	0.006
1000	0,056	0,056	0 267	0,034	0,003	0,007	0,005
1200	0 047	0,047	0,222	0,028	0,003	0 006	0.004
1400	0.040	0 040	0,191	0,024	0,002	0 005	0 004
1600	0,035	0 035	0,177	0,021	0,002	0 005	0,003
1800	0,031	0 031	0,148	0,019	0.002	0 004	0,003
2000	0,028	0,028	0,134	0,017	0,002	0,004	0,002

Enſuite on aura conſtamment la diſtance AB = 10 pouces.

Du ſecond verre B la diſtance de foyer = $2\frac{1}{2}$ pouces, dont le rayon de chaque face = 2,7, & le diametre de ſon ouverture = 1, 25.

La diſtance entre le ſecond & troiſieme verre eſt BC = 2 pouces.

Du troiſieme verre C la diſtance de foyer eſt 1 pouce, dont le rayon de chaque face $= 1,08$, & le diametre de ſon ouverture eſt $\frac{1}{2}$ pouce.

Enfin l'oeil doit être placé derriere l'oculaire C à la diſtance $CO = \frac{4}{7}$ pouce.

9. Cette hypotheſe éloigne déjà ſuffiſamment l'objet de l'objectif, & le verre objectif ne paroit pas trop petit même pour les plus grands groſſiſſemens qu'on puiſſe ſouhaiter. Mais on aura lieu de ſe plaindre d'un trop petit degré de clarté, qui, pour le groſſiſſement $m = 2000$, n'eſt que $\frac{4}{1000000}$, ou $\frac{1}{250000}$, ou bien les objets éclairés par le Soleil ne ſeront vûs qu'avec la clarté qu'ils auroient à la pleine Lune. La raiſon en eſt la trop petite ouverture de l'objectif, qu'on ne ſauroit augmenter ſans rendre la confuſion inſupportable. Si l'objectif ne cauſoit aucune confuſion, ſa figure permettroit bien une ouverture dont le diametre ſeroit presque 5 fois plus grand, ce qui fourniroit une clarté 25 fois plus grande, qui ſurpaſſeroit même celle des microſcopes ſimples. Je m'en vai donc chercher des moyens propres pour procurer à ces microſcopes un plus grand degré de clarté.

Sur les moyens de procurer à ces microſcopes un plus haut degré de clarté.

10. Puisque les deux autres verres B & C n'influent presque rien ſur la confuſion, tout revient à trouver un tel objectif, dont la confuſion ſoit nulle, ou incomparablement plus petite que celle des verres ordinaires; ce qui ſe peut exécuter en compoſant l'objectif de deux verres. Et parce que la diſtance de l'objet a ne differe pas ſenſiblement de la diſtance de foyer de l'objectif, ſurtout dans les grands groſſiſſemens, qu'il faut principalement avoir en vue, nous aurons le même cas, que j'ai déjà dévelopé dans le Mémoire précédent ſur les microſcopes ſimples, (§. §. 9. & 10.) auquel je me rapporte.

11. Mais

11. Mais j'en donnerai ici une autre solution plus propre pour le cas présent. Je supposerai la premiere lentille concave, & partant je mettrai $p = -nq$, d'où j'aurai $-nq = \frac{(q-d)l}{mq-l}$, & puisque $a = \frac{q-d}{mq}l$, comme je regarde ici uniquement la construction de l'objectif sans avoir égard au grossissement, j'en tire $\frac{l}{m} = \frac{aq}{q-d}$, & de là $-nq = \frac{a(q-d)}{q-d-a}$, ou $nq = \frac{a(q-d)}{a+d-q}$. Or la distance de nos deux verres d étant très petite, dépend de la distance de foyer q, d'où je la pose $d = \delta q$, & j'aurai $n = \frac{a(1-\delta)}{a-(1-\delta)q}$, donc $q = \frac{a(n-1+\delta)}{n(1-\delta)}$, & $p = -\frac{a(n-1+\delta)}{1-\delta}$. Maintenant, puisque $\frac{l}{m} = \frac{a}{1-\delta}$, & partant $\frac{mq-l}{l} = \frac{(1-\delta)q}{a} - 1 = -\frac{(1-\delta)}{n}$, l'équation

$$\lambda(q-d)(mq-l)^3 - \nu' mq(q-d)(mq-l) + \lambda' l^3 q = 0,$$

étant divisée par $l^3 q$ prend cette forme:

$$-\frac{\lambda(1-\delta)^4}{n^3} + \frac{\nu(1-\delta)^2(n-1+\delta)}{nn} + \lambda' = 0,$$

d'où l'on tire $\lambda' = \frac{\lambda(1-\delta)^4}{n^3} - \frac{\nu(1-\delta)^2(n-1+\delta)}{nn}$,

12. Faisons le second verre dont la distance de foyer est positive $= q = \frac{n-1+\delta}{n(1-\delta)}a$, également convexe des deux côtés, pour qu'il admette la plus grande ouverture, & nous aurons $\lambda' = 1,615$, & à cause de $\nu = 0,226$, pour le premier verre: $\lambda =$

$$\frac{n^3}{(1-\delta)^4}\left(1,615+\frac{0,226(1-\delta)^2(n-1+\delta)}{nn}\right)=\frac{1,615n^3}{(1-\delta)^4}+\frac{0,226n(n-1+\delta)}{(1-\delta)^2},$$

& $A = -\frac{(n - 1 + \delta)}{n}$, pour la conſtruction du premier verre. Suppoſons donc $n = 3$, & $\delta = \frac{1}{4}$ de ſorte que $A = -\frac{3}{4}$; $p = 3a$; $q = a$, & la diſtance des verres $d = \frac{1}{4}a$, de là on trouve $\lambda = 140,51$, & pour les faces du premier verre les rayons

$$\text{de devant} = \frac{-3a}{+5,94853-0,91499\,V(\lambda-1)} = +0,61744\,a,$$

$$\text{de derriere} = \frac{-3a}{-4,09668+0,91499\,V(\lambda-1)} = -0,44705\,a,$$

& le ſecond verre étant également convexe des deux côtés le rayon de ſes faces ſera $= 1,08\,a$.

13. Cet objectif compoſé n'admettra donc qu'une ouverture dont le diametre ſera $= \frac{1}{5}a$, à en juger de la face la plus courbe, quoique le ſecond verre fut ſuſceptible d'une plus grande. Il conviendra donc de donner au nombre λ' une plus petite valeur. Pour cet effet poſons $\lambda' = 1,2$, & nous aurons pour les faces du ſecond verre les rayons:

$$\text{de devant} = \frac{a}{0,20841 + 0,91499\,V(\lambda' - 1)} = 1,61917\,a,$$

$$\text{de derriere} = \frac{a}{1,64344 - 0,91499\,V(\lambda' - 1)} = 0,81022\,a,$$

or pour le premier verre ayant: $\lambda = 105,11$, les rayons de ſes faces ſeront, de celle de $\begin{cases}\text{devant} & = + 0,88561\,a\\ \text{derriere} & = - 0,57259\,a,\end{cases}$

de ſorte que cet objectif compoſé pourroit atmettre une ouverture dont

dont le diametre ſeroit $= 0,28a$; mais le ſecond verre ſeroit encore ſuſceptible d'une plus grande.

14. Poſons donc pour procurer à notre verre encore une plus grande ouverture, & partant un plus haut degré de clarté $\lambda' = 1,08$, & nous aurons pour le ſecond verre

$$\text{le rayon de ſa face de } \begin{cases} \text{devant} & = 2,14041\,a \\ \text{derriere} & = 0,72222\,a, \end{cases}$$

Mais, poür le premier, le nombre λ devenant $= 94,87$, nous aurons

$$\text{le rayon de ſa face de } \begin{cases} \text{devant} & = +\ 1,02863\,a \\ \text{derriere} & = -\ 0,62915\,a, \end{cases}$$

donc ce verre admettra une ouverture dont le diametre ſera $= 0,31\,a$, qui fournira une très grande clarté. Car on aura $y = \frac{1,2}{m}$, donc $20y = \frac{24}{m}$, & partant la clarté $= \frac{576}{mm}$, qui eſt preſque 6 fois plus grande que celle des microſcopes ſimples. La quatrieme figure répréſente un tel objectif compoſé, où les deux verres laiſſent un vuide entr'eux.

15. Si donc l'artiſte eſt aſſés habile à réuſſir dans la conſtruction de tels objectifs compoſés, on n'a qu'à les employer au lieu des objectifs ſimples dans la *II. Hypotheſe* §. 8. & puiſqu'on peut négliger la différence entre les quantités a & p, attendu que la diſtance de l'objet ſe détermine par l'expérience, & que le groſſiſſement n'eſt pas ſuſceptible de préciſion, nous aurons la table ſuivante pour chaque groſſiſſement.

Table
des objéctifs composés pour chaque grossissement.

Grossissement.	Du prem. verre rayons des faces		Du second verre rayons des faces		Distance de l'objet a	Diametre de l'ouverture de l'objet.	Diametre du champ apparent.	Degré de clarté.
	de devant.	de derriere.	de devant.	de derriere.				
	+	—	+	+				
100	0,576	0,352	1,199	0,404	0,560	0,176	0,070	0,057600
150	0,384	0,235	0,800	0,270	0,373	0,117	0,047	0,025600
200	0,288	0,176	0,600	0,202	0,280	0,088	0,035	0,014400
250	0,230	0,141	0,480	0,162	0,224	0,070	0,028	0,009216
300	0,192	0,117	0,400	0,135	0,187	0,058	0,023	0,006400
400	0,144	0,088	0,300	0,101	0,140	0,044	0,017	0,003600
500	0,115	0,070	0,240	0,081	0,112	0,035	0,014	0,002304
600	0,096	0,059	0,200	0,067	0,093	0,030	0,012	0,001600
800	0,072	0,044	0,150	0,051	0,070	0,022	0,009	0,000900
1000	0,057	0,035	0,120	0,040	0,056	0,017	0,007	0,000576
1200	0,048	0,029	0,100	0,034	0,047	0,014	0,006	0,000400
1600	0,036	0,022	0,075	0,025	0,035	0,011	0,004	0,000225
2000	0,029	0,017	0,060	0,020	0,028	0,008	$0,003\frac{1}{2}$	0,000144

où il est clair que la clarté est 25 fois plus grande que dans le cas de l'objectif simple.

Or, sur la construction de l'instrument tout entier, on doit observer les regles suivantes.

I. Quoique l'intervalle entre les deux verres dont l'objectif est composé, ait été supposé dans le calcul $= \frac{1}{4} a$, ou bien égal au quart de la distance de l'objet, il vaut mieux établir cet intervalle par l'expérience, afin que la confusion devienne le moins sensible.

II. L'intervalle entre l'objectif & le second verre B sera toujours de 10 pouces; & celui entre le second verre B & le troisieme C de 2 pouces.

III. Le

III. Le fecond verre B aura $2\frac{1}{2}$ pouces de foyer, & partant le rayon de chaque face $=$ 2,7; & le diametre de fon ouverture $=$ $1\frac{1}{4}$ pouce.

IV. Le troifieme verre C aura 1 pouce de foyer, donc le rayon de fes faces $=$ 1,08 pouce, & le diametre de fon ouverture $=$ $\frac{1}{2}$ pouce.

V. Enfin l'oeil doit être placé à la diftance de $\frac{4}{7}$ pouce derriere l'oculaire C.

16. Ces Microfcopes paroiffent fi commodes & fi excellens dans leurs efpeces, que je ne vois rien qu'on puiffe defirer de plus, fi ce n'eft que, pour les grands groffiffemens, le verre objectif devient trop petit, comme auffi la diftance de l'objet au verre objectif, furtout fi l'on vouloit pouffer plus loin le groffiffement, que felon la table que je viens de donner. Mais, fi les objectifs compofés, dont je viens de donner la defcription, réuffiffent, on peut aifément remédier à cet inconvenient en donnant au nombre n dans les formules du §. 5. une plus grande valeur, ce qu'on pourra faire fans porter aucune atteinte au degré de clarté. Dans cette vue j'ai pofé $n = 17$, & les déterminations fuivantes en réfultent $a = \frac{136}{m}$, & $p = \frac{3400}{25m + 128}$, $q = 2\frac{1}{7}$; $r = 1$, $AB = 25$; $BC = 2$, & $CO = 1\frac{2}{7}$ pouce, & le diametre de l'efpace decouvert $= \frac{68}{9m}$.

17. Comme dans les grands groffiffemens les valeurs de a & p ne different pas fenfiblement, je joins ici la table fuivante, que je continue à de plus grands groffiffemens.

TABLE

des objectifs composés pour de plus grands grossissemens.

Grossissement. *m*	Du prem. verre rayons des faces de devant.	de derriere.	Du second verre rayons des faces de devant.	de derriere.	Distance de l'objet.	Diametre de l'ouverture.	Diametre du champ appar.	Degré de clarté.
	+	—	+	+				
500	0,279	0,171	0,582	0,196	0,272	0,085	0,015	0,002304
600	0,233	0,143	0,485	0,164	0,227	0 071	0,013	0,001600
• 800	0,175	0,107	0,364	0,123	0,170	0,053	0,009	0,000900
1000	0,14[illegible]	0,086	0,291	0,098	0,136	0,043	0,008	0,000576
1200	0,117	0,071	0,243	0,082	0,113	0,035	0,006	0,000400
1600	0,088	0,053	0,182	0,061	0,085	0,026	0,005	0,000225
2000	0,070	0,043	0,145	0,049	0,068	0,021	0,004	0,000144
2400	0,059	0,036	0,121	0,041	0,057	0,018	0,003	0,000100
3200	0,044	0,027	0,091	0,031	0,04[illegible]	0,013	0,002	0,000056
4000	0,035	0,021	0,073	0,024	0,034	0,010	0,002	0,000036
4800	0,030	0,018	0,061	0,020	0,028	0,009	0,001	0,000025
5000	0,028	0,017	0,058	0,019	0,027	0,008	0,001	0,000023

I. L'intervalle entre les deux verres dont l'objectif est composé, est environ le quart de la distance de l'objet: mais on le déterminera plus surement par l'expérience.

II. L'intervalle entre l'objectif & le second verre B doit être ici de 25 pouces, & celui entre le second & le troisieme verre de 2 pouces.

III. Le second verre B doit avoir $2\frac{7}{8}$ pouces de foyer, & partant le rayon de chaque face de 3 pouces; le demi-diametre de son ouverture $1\frac{7}{18}$ pouce.

IV. Le troisieme verre C a un pouce de foyer, & le rayon de chaque face de 1,08 pouce, le diametre de son ouverture étant $=\frac{1}{2}$ pouce.

V. Enfin l'oeil doit être placé à la distance de $1\frac{5}{8}$ pouce derriere le verre oculaire.

17. Ces

17. Ces objectifs sont les mêmes que ceux de la table précédente, avec cette différence, qu'il sont employés ici à de plus grands grossissemens: ainsi l'objectif qui grossit ici 500 fois, ne grossiroit dans l'hypothese précédente qu'environ 200 fois: mais ici le verre du milieu B est plus grand, & la distance AB est presque autant de fois plus grande que le grossissement. Ordinairement on ne change pas le verre du milieu, & on augmente le grossissement dans la même raison qu'on éloigne l'objectif du verre de milieu. Mais c'est la destruction des couleurs d'iris qui exige pour chaque hypothese du nombre n un verre particulier pour le milieu, de sorte que, plus on augmente le nombre n, ou qu'on veut employer le même objectif à de plus grands grossissemens, le verre de milieu doit être pris plus grand, l'oculaire demeurant le même, & il ne suffit pas d'allonger seulement la distance AB. Cependant la distance de foyer du verre du milieu ne sauroit jamais surpasser trois pouces, celle de l'oculaire étant un pouce.

18. Mais en général ayant construit un verre objectif sur la distance de foyer $= a$, soit qu'il soit simple ou composé, il peut toujours être employé à tous les grossissemens, il s'agit seulement de chosir un verre du milieu B, qui convient le mieux avec la distance des verres AB. Les formules générales rapportées ci-dessus nous fournissent pour la distance de foyer de l'objectif, ou la distance de l'objet $= a$, exprimée en pouces, & le grossissemens $= m$, les déterminations suivantes:

I. La distance de foyer du second verre B $= \frac{3ma - 8}{ma + 8}$ pouce, celle de l'oculaire C étant toujours $= 1$ pouce.

II. La distance entre l'objectif A & le second verre B $= \frac{3ma-8}{16}$ pouce, la distance BC étant constamment $= 2$ pouces.

III. Pour le lieu de l'oeil la distance CO $= \frac{1}{2} + \frac{4}{ma}$ pouce.

IV. Le diametre de l'eſpace vu $= \frac{8a}{ma + 8}$ pouce.

V. Employant un verre objectif délivré de toute confuſion, de ſorte que le diametre de ſon ouverture puiſſe être $= \frac{3}{10}a$, le degré de clarté ſera $= \frac{576}{mm}$.

19. Suppoſons que l'artiſte nous ait fait un excellent objectif, compoſé ſur la diſtance de foyer $= \frac{1}{10}$ pouce, à laquelle eſt à peu près égale la diſtance de l'objet à l'objectif, de ſorte que

Du premier verre le rayon de la face de $\begin{cases} \text{devant} = 0,103 \text{ convexe} \\ \text{derriere} = 0,063 \text{ concave} \end{cases}$ & de l'autre verre le rayon de la face de $\begin{cases} \text{devant} = 0,214 \text{ convexe} \\ \text{derriere} = 0,072 \text{ convexe} \end{cases}$	La diſtance entre ces deux verres eſt $\frac{1}{40}$ pouce environ.

Alors, pour produire un groſſiſſement $= m$, il faut prendre

La diſtance de foyer	Les intervalles
du verre B $= \frac{3m - 80}{m + 80}$,	$AB = \frac{3m - 80}{160}$,
du verre C $= 1$,	$BC = 2$,
	& $CO = \frac{1}{2} + \frac{40}{m}$,

& le diametre de l'eſpace découvert $= \frac{8}{m + 80}$.

Or le nombre m eſt ſuppoſé ici très grand: & la diſtance de foyer du verre B ſera $= 1$ ſi $m = 80$; pour les autres multiplications ſuivant cette table.

Groſ-

Groſ-ſiſſe-ment m	Diſtan-ce de foyer du ver-re B.	Diſtance des verres AB.	Diame-tre de l'eſpace vu.
80	1,000	1,000	0,050
160	1,666	2,500	0,033
240	2,000	4,000	0,025
400	2,333	7,000	0,017
560	2,500	10,000	0,012
880	2,667	16,000	0,008
1360	2,778	25,000	0,006
1840	2,833	34,000	0,004
2800	2,889	52,000	0,003
3920	2,920	73,000	0,002
5520	2,943	103,000	0,001½
7920	2,960	148,000	0,001

De là on comprend que, dès que le groſſiſſement ſurpaſſe 1000, le verre B ne change plus conſidérablement, & on pourra pour tous les plus grands groſſiſſemens ſe ſervir d'un même verre dont la diſtance de foyer eſt environ 2¾ pouces, & l'erreur qui en pourroit influer ſur les couleurs d'iris, ſera abſolument inſenſible. Le même inſtrument donc pourra ſervir à produire pluſieurs groſſiſſemens différens, pourvu qu'on puiſſe allonger & raccourcir la diſtance AB, tout le reſte demeurant le même.

20. On voit auſſi par cette table, que de plus grands groſſiſſemens demandent une plus grande longueur de l'inſtrument, qui deviendra même exceſſive, quand on veut pouſſer trop loin le groſſiſſement: ainſi, pour groſſir les objets 8000 fois, l'intervalle AB doit être de 150 pouces, ou de 12 pieds & demi. Or ſi l'on pouvoit exécuter un ſemblable objectif ſur la moitié des meſures preſcrites, cet intervalle ſeroit auſſi réduit à la moitié, ce qui ſeroit ſans doute le meilleur expédient. Un autre expédient ſeroit de ne donner à l'oculaire qu'un demi-pouce de foyer, & alors les autres meſures ſeroient auſſi réduites à la moitié; mais le premier eſt toujours fort préferable.

21. Quoiqu'une lentille d'un pouce de foyer ſemble la plus propre pour l'oculaire, je remarquerai encore qu'elle dépend uniquement de notre bon-plaiſir, en ſorte que les trois élemens, 1°. le groſſiſſement m, 2°. la diſtance de l'objet a, & 3°. la diſtance de foyer de l'oculaire $= r$ étant donnés, on en peut toujours déterminer le reſte. Car des formules du §. 5. on tire dabord $n = \frac{ma}{l}$, &

$i(n-1) = \frac{1}{2}(3n-i)\,r.\,\frac{m}{l} = \frac{3ma-l}{2l}.\,\frac{m}{l}\,r$, ou

$i = \frac{3ma-l}{2(ma-l)}.\,\frac{m}{l}\,r$, d'où les autres élemens pour la conſtruction du microſcope ſeront déterminés en ſorte

$p = \frac{i}{i+1}\,a$; $\qquad$ $AB = \frac{3ma-l}{2l}\,r$,

$q = \frac{3ma-l}{ma+l}\,r$; $\qquad$ $BC = 2r$, & $CO = \frac{ma+l}{2ma}\,r$,

& le diametre de l'eſpace vu $= \frac{al}{ma+l}$, en ſuppoſant les deux verres oculaires également convexes des deux côtés, & que le diametre de leur ouverture ſoit la moitié de la diſtance de foyer de chacun. Pour la diſtance de foyer de l'objectif p, on la peut regarder comme égale à a, puisque le nombre i eſt ordinairement très grand, & que la diſtance a ſe détermine par l'expérience. Si l'on ſe ſert d'un objectif ſimple, le diametre de ſon ouverture ſera à peu près $= \frac{1}{8}\sqrt[3]{\frac{aal}{m}}$, & la clarté $= \frac{25\,ll}{16\,mma}\sqrt[3]{\frac{all}{mm}}$; mais pour un objectif compoſé le diametre de ſon ouverture étant $= \frac{3}{16}\,a$, la clarté ſera $= \frac{9\,ll}{mm}$.

Sur les moyens de procurer aux Microſcopes un plus grand champ.

22. Quand les objectifs compoſés dont je viens de donner la deſcription, réuſſiſſent, on peut ſe flatter d'avoir remédié au plus grand defaut, dont on ſe plaint ordinairement dans les obſervations microſcopiques. Ces objectifs fourniront tant de clarté qu'on n'en ſauroit eſpérer une plus grande; & par cette raiſon on peut pouſſer le groſſiſſement beaucoup plus loin, ſans craindre que la répréſentation

devienne

devienne trop obſcure. Or alors la longueur de l'inſtrument pourroit paroitre incommode; mais, s'il n'eſt pas poſſible de remédier à cet inconvénient en ſe procurant un plus petit objectif composé, on n'a qu'à diminuer les verres oculaires, & au lieu de donner dans les dernieres formules à la lettre r la valeur d'un pouce, de ne lui donner qu'un demi-pouce ou un tiers: par ce moyen la longueur de l'inſtrument ſera réduit à la moitié ou au tiers.

23. Mais on ſe plaint auſſi ſouvent du trop petit champ apparent que les microſcopes composés ordinaires nous découvrent: or, quoi, que les deſſeins que je viens de propoſer en découvrent déjà un plus grand, les verres y étant arrangés exprès en ſorte que le champ apparent devienne le plus grand qu'il ſoit poſſible, en n'employant que deux verres oculaires; on peut en multipliant le nombre de ces verres obtenir un champ beaucoup plus grand, & le pouſſer même ſi loin, jusqu'à ce que le trop grand nombre des verres cauſe une obſcurité inſupportable. Comme le diametre de l'eſpace vu ſur l'objet étoit $= \frac{al}{ma + l}$, trois verres oculaires peuvent être arrangés en ſorte que ce diametre devienne $= \frac{3al}{2(ma + l)}$, & quatre en ſorte qu'il devienne le double $= \frac{2al}{ma + l}$, & partant le champ même quatre fois plus grand. Avec 5 oculaires on le pourroit rendre plus que 6 fois plus grand.

24. Je déveloperai donc le cas de trois oculaires, de ſorte que l'inſtrument ſoit composé de quatre verres A, B, C, D, dont les diſtances de foyer ſoient p, q, r, s, & les demi-diametres de leurs ouvertures x, πq, $\pi' r$, $\pi'' s$. Donc, ſi nous poſons le groſſiſſement $= m$ rapporté à la diſtance l de 8 pouces, la diſtance de l'objet devant l'objectif $aA = a$, & l'angle $aA\alpha = \Phi$, de ſorte que le diametre de l'eſpace vu ſur l'objet ſoit $= 2a\Phi$; nous aurons cette déter- Fig. 5.

 ter-

termination $-\frac{m}{l} = \frac{\Phi - \pi + \pi' - \pi''}{a\Phi}$, donc $\Phi = \frac{\pi - \pi' + \pi''}{ma + l}\, l$; & partant, pour rendre le champ le plus grand qu'il ſoit poſſible, je fais les trois oculaires également convexes des deux côtés, & je poſe $\pi = \omega$, $\pi' = -\omega$, & $\pi'' = \omega$, pour avoir $\Phi = \frac{3\omega}{ma + l}\, l$, où l'on peut mettre $\omega = \frac{1}{4}$, de ſorte que le diametre de l'eſpace vû devient $2a\Phi = \frac{3al}{2(ma + l)}$, & partant le champ même $\frac{9}{4}$ fois plus grand qu'auparavant.

25. Poſons pour abréger $\frac{3l}{ma + l} = M$, de ſorte que $\Phi = M\omega$, & pour les lieux des verres ſoient

$$A = \frac{\mathfrak{a}}{1 - \mathfrak{a}};\quad B = \frac{-\mathfrak{b}}{1 + \mathfrak{b}};\quad C = -1;\quad D = \infty,$$

$$\frac{A}{1 + A} = \mathfrak{a};\quad \frac{B}{1 + B} = -\mathfrak{b};\quad \frac{C}{1 + C} = \infty;\quad \frac{D}{1 + D} = 1,$$

où je place le verre C dans le foyer commun des verres B & D. De là nous aurons:

$$\frac{B}{B + 1}\,\pi - \Phi = -(\mathfrak{b} + M)\omega;$$

$$\frac{C}{C + 1}\,\pi' - \pi + \Phi = -\infty\,\omega,\ \&$$

$$\pi'' - \pi' + \pi - \Phi = (3 - M)\omega,$$

& partant pour les déterminations des verres les formules ſuivantes:

$a =$

$$a = a; \qquad \alpha = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}}\,a; \qquad p = \mathfrak{a}a,$$

$$b = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}}\cdot\frac{-Ma}{\mathfrak{b}+M}; \quad \beta = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot\frac{Ma}{\mathfrak{b}+M}; \quad q = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{1-\mathfrak{a}}\cdot\frac{Ma}{\mathfrak{b}+M},$$

$$c = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot\frac{Ma}{\infty} = 0; \quad \gamma = 0; \qquad r = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot Ma,$$

$$d = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot\frac{Ma}{3-M}; \quad \delta = \infty; \qquad s = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot\frac{Ma}{3-M}.$$

26. Pour les intervalles entre les verres, nous aurons

$$AB = \alpha + b = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}}\cdot\frac{\mathfrak{b}a}{\mathfrak{b}+M},$$

$$BC = \beta + c = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot\frac{Ma}{\mathfrak{b}+M},$$

$$CD = \gamma + d = \frac{\mathfrak{a}\mathfrak{b}}{(1-\mathfrak{a})(1+\mathfrak{b})}\cdot\frac{Ma}{3-M} = s.$$

Or pour le lieu de l'oeil la diſtance $DO = \frac{dd}{ABCaM}$, ou bien $DO = \frac{s}{3-M}$. Mais à cauſe de $M = \frac{3l}{ma+l}$, on aura $3 - M = \frac{3ma}{ma+l}$, & $\frac{M}{3-M} = \frac{l}{ma}$; donc pour le lieu de l'oeil $DO = \frac{ma+l}{3ma}\,s$. Enſuite, pour le degré de clarté on aura $y = \frac{lx}{ma}$, & la clarté même $= 400yy$, où je ſuppoſe toujours que toutes ces grandeurs ſont exprimées en pouces. Pour x, ſa valeur eſt comme ci-deſſus, ſélon qu'on ſe ſert d'un objectif ſimple ou compoſé.

27. Main-

27. Maintenant il ne reste qu'à faire évanouir les couleurs d'iris, & cette condition nous déterminera la lettre $\mathfrak{b}$, par cette équation:

$$\frac{\pi}{-(\mathfrak{b}+M)\,\omega} + \frac{\pi'}{-\infty\,\omega} + \frac{\pi''}{(3-M)\,\omega} = 0, \text{ d'où}$$

nous tirons: $\mathfrak{b}+M = 3-M$, & partant $\mathfrak{b} = 3-2M = \frac{3(ma-l)}{ma+l}$.

Donc $\frac{Ma}{\mathfrak{b}+M} = \frac{Ma}{3-M} = \frac{l}{m}$, & $\frac{\mathfrak{b}a}{\mathfrak{b}+M} = \frac{ma-l}{m}$,

où je remarque, que si l'on donnoit à $\mathfrak{b}$ une valeur assés différente de celle-ci, la représentation seroit troublée par les couleurs d'iris. Toutes les déterminations pour la construction de ces microscopes seront donc:

$p = \mathfrak{a}a$;

$q = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{3(ma-l)}{ma+l} \cdot \frac{l}{m}$;

$r = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{3(ma-l)}{4ma-2l} \cdot \frac{3al}{ma+l}$;

$s = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{3(ma-l)}{4ma-2l} \cdot \frac{l}{m}$;

$AB = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{ma-l}{m}$;

$BC = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{3(ma-l)}{4ma-2l} \cdot \frac{l}{m} = s$,

$CD = \frac{\mathfrak{a}}{1-\mathfrak{a}} \cdot \frac{3(ma-l)}{4ma-2l} \cdot \frac{l}{m} \cdot s$,

$DO = \frac{ma+l}{3ma} \cdot s$.

& le diametre de l'espace vu sur l'objet $= \frac{3al}{2(ma-l)}$, supposé que le diametre de l'ouverture de chaque verre oculaire est égal à la moitié de sa distance de foyer.

28. Considérons le dernier oculaire D; dont la distance de foyer est $= s$ comme donnée, & puisque

$$\frac{q}{s} = \frac{4ma-2l}{ma+l};\quad \frac{r}{s} = \frac{3ma}{ma+l};\ \&\ \frac{\mathfrak{a}}{1-a} = \frac{(4ma-2l)\,ms}{3(ma-l)\,l},$$

je remarque que dans les grands grossissemens cette derniere quantité est

eſt quaſi infinie, & partant $\alpha = 1$; donc $p = a$: & on fera d'autant moins de difficulté d'accorder cette égalité, quoiqu'en effet la diſtance a ſoit tant ſoit peu plus grande, que la diſtance de foyer de l'objectif p, puisque la diſtance a ſe détermine par l'expérience. De là nous aurons donc les déterminations ſuivantes:

$$p = a; \qquad AB = \frac{4ma - 2l}{3l} s,$$

$$q = \frac{4ma - 2l}{ma + l} s; \qquad BC = s,$$

$$r = \frac{3ma}{ma + l} s; \qquad CD = s,$$

$$s = s; \qquad \& \ DO = \frac{ma + l}{3ma} s,$$

& partant la longueur de l'inſtrument

$$AO = \frac{(ma + l)(4ma + l)}{3mal} s.$$

29. Ayant donc un bon verre objectif, ou ſimple, ou composé, dont la diſtance de foyer ſoit $= a$, à laquelle à peu près l'objet doit être mis devant lui, on le pourra employer à tous les groſſiſſemens, en ſe ſervant toujours du même dernier oculaire D, dont la diſtance de foyer eſt $= s$. Mais les deux verres moyens B & C doivent être changés ſelon le groſſiſſement: pour les plus grands groſſiſſemens la diſtance de foyer du ſecond B devient $= 4s$, & celle du troiſieme C $= 3s$, mais, pour les groſſiſſemens médiocres, ces verres doivent être plus petits. Suppoſons que le groſſiſſement ſoit $m = \frac{nl}{a} = \frac{8n}{a}$, la diſtance a étant exprimée en pouces, & on aura:

 $p =$

$$p = a; \qquad PP = 2x; \qquad AB = \tfrac{2}{3}(2n - 1)s,$$

$$q = \frac{4n-2}{n+1}s; \quad QQ = \frac{2n-1}{n+1}s; \quad BC = s;$$

$$r = \frac{3n}{n+1}s; \quad RR = \frac{3n}{2(n+1)}s; \quad CD = s,$$

$$s = s; \qquad SS = \tfrac{1}{2}s; \qquad DO = \frac{n+1}{3n}s.$$

30. Pour les diverses valeurs du nombre n, j'ajoute la table suivante:

n	m	q	r	AB	DO
1	8: a	1, 000 s	1, 500 s	0, 667 s	0, 667 s
2	16: a	2, 000 s	2, 000 s	2, 000 s	0, 500 s
3	24: a	2, 500 s	2, 250 s	3, 333 s	0, 444 s
5	40: a	3, 000 s	2, 500 s	6, 000 s	0, 400 s
10	80: a	3, 455 s	2, 727 s	12, 67 s	0, 367 s
15	120: a	3, 625 s	2, 812 s	19, 33 s	0, 356 s
20	160: a	3, 714 s	2, 857 s	26, 00 s	0, 350 s
25	200: a	3, 769 s	2, 885 s	32, 66 s	0, 347 s
30	240: a	3, 807 s	2, 903 s	39, 33 s	0, 344 s
40	320: a	3, 854 s	2, 927 s	52, 66 s	0, 341 s
50	400: a	3, 882 s	2, 941 s	66, 00 s	0, 340 s
70	560: a	3, 915 s	2, 957 s	92, 66 s	0, 338 s
100	800: a	3, 941 s	2, 970 s	132, 67 s	0, 336 s

31. On comprend aisément qu'on n'a pas besoin d'observer ces mesures à la rigueur, mais que les mêmes deux verres moyens B & C peuvent être employés à plusieurs grossissemens, de sorte que le plus grand soit le double du plus petit. Donc, comme on est accoutumé de faire les tuyaux pour les microscopes en sorte que la distance AB peut être allongée jusqu'au double, je voudrois conseiller de faire quelques tuyaux de cette façon, qui serviroient successivement, à des plus grands grossissemens, la distance de foyer s en seroit la mesure de la maniere suivante:

I. AB

I.	$AB = \begin{cases} 3s; \\ 6s; \end{cases}$	$q = 2{,}77s$;	$r = 2{,}38s$;	$DO = 0{,}42s$;	$m = \begin{cases} 22:a \\ 40:a \end{cases}$
II.	$AB = \begin{cases} 6s; \\ 12s; \end{cases}$	$q = 3{,}27s$;	$r = 2{,}64s$;	$DO = 0{,}38s$;	$m = \begin{cases} 40:a \\ 76:a \end{cases}$
III.	$AB = \begin{cases} 12s; \\ 24s; \end{cases}$	$q = 3{,}60s$;	$r = 2{,}80s$;	$DO = 0{,}36s$;	$m = \begin{cases} 76:a \\ 148:a \end{cases}$
IV.	$AB = \begin{cases} 24s; \\ 48s; \end{cases}$	$q = 3{,}79s$;	$r = 2{,}89s$;	$DO = 0{,}35s$;	$m = \begin{cases} 148:a \\ 292:a \end{cases}$
V.	$AB = \begin{cases} 48s; \\ 96s; \end{cases}$	$q = 3{,}89s$;	$r = 2{,}95s$;	$DO = 0{,}34s$;	$m = \begin{cases} 292:a \\ 580:a \end{cases}$
VI.	$AB = \begin{cases} 96s; \\ 192s; \end{cases}$	$q = 3{,}94s$;	$r = 2{,}97s$;	$DO = 0{,}34s$;	$m = \begin{cases} 580:a \\ 1156:a. \end{cases}$

32. Ayant donc 6 tels tuyaux, chacun garni des trois verres que je viens d'aſſigner, où il faut ſe ſouvenir que les deux diſtances BC & CD ſont toujours les mêmes & égales à la diſtance de foyer s du dernier oculaire D. On peut ſucceſſivement appliquer à chacun d'eux l'objectif dont on ſera pourvu; & on pourra même ſe ſervir de pluſieurs ob,ectifs, lorsqu'on en a, en y mettant l'un après l'autre ſans changer rien dans le reſte; or, plus l'objectif ſera petit, plus le groſſiſſement ſera grand que le même tuyau produit. Le premier tuyau ſert pour les petits groſſiſſemens, & le dernier pour les plus grands; mais il eſt douteux, ſi l'on y puiſſe jamais arriver.