

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'É.N.S.

A. MARTIN

**Sur une méthode d'autocollimation directe des objectifs
astronomiques et son application à la mesure des indices de réfraction
; remarques sur l'emploi du sphéromètre**

Annales scientifiques de l'É.N.S. 2^e série, tome 10 (1881), p. 49-66

http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1881_2_10__49_0

© Gauthier-Villars (Éditions scientifiques et médicales Elsevier), 1881, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'É.N.S. » (<http://www.elsevier.com/locate/ansens>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

SUR UNE

MÉTHODE D'AUTOCOLLIMATION DIRECTE

DES OBJECTIFS ASTRONOMIQUES

ET SON APPLICATION

A LA MESURE DES INDICES DE RÉFRACTION DES VERRES QUI LES COMPOSENT;

REMARQUES SUR L'EMPLOI DU SPHÉROMÈTRE,

PAR M. ADOLPHE MARTIN,

DOCTEUR ÈS SCIENCES.

Les dimensions des grands objectifs astronomiques, qu'on entreprend avec un certain entraînement depuis déjà quelques années et de divers côtés, prennent des proportions de plus en plus considérables, et il est devenu nécessaire de doter l'Optique de méthodes nouvelles pour l'examen des matériaux qu'elle emploie et pour la vérification du résultat de leur travail.

On sait pour quelle part importante L. Foucault a contribué à la création de ces méthodes; les principes qu'il a donnés sont appliqués aujourd'hui par tous les opticiens qui s'occupent de ce genre de constructions. Il les a publiés, comme on le sait, dans le cinquième Volume des *Annales de l'Observatoire de Paris*, et M^{me} V^{ve} Foucault, sa mère, les a édités de nouveau dans les OEuvres complètes de son fils.

Exercé par lui pendant plusieurs années à ces travaux, j'ai pu, à plusieurs reprises, compléter ses renseignements sur plusieurs points, et, après avoir communiqué et expliqué sa Note sur la construction du

miroir plan avec les perfectionnements que j'y avais apportés, j'ai indiqué sommairement sa méthode d'autocollimation des objectifs à l'aide de cet auxiliaire. Je viens donner aujourd'hui une méthode d'*autocollimation directe*, c'est-à-dire de collimation de l'objectif par lui-même, sans l'adjonction d'aucun appareil accessoire. Elle ne permet pas, comme la précédente, de corriger l'aberration de sphéricité, mais elle offre, pour tout le travail préparatoire des objectifs, des avantages importants qui lui sont particuliers.

On sait que, si l'on place un point lumineux au foyer d'un objectif, les rayons qui en émanent, réfractés par ce dernier, sortent parallèles de la surface du crown. Si l'on fait avancer le point lumineux vers l'objectif et sans s'écarter de son axe optique, les rayons, après les diverses réfractions, divergent d'un foyer conjugué virtuel d'autant plus rapproché que le point lumineux a été plus rapproché lui-même de l'objectif. En continuant à le déplacer dans le même sens, on arrivera à un moment où les rayons émergeront normalement à la surface du crown. Supposons que cette position du point lumineux soit atteinte : il y aura, comme on le sait, partage de la lumière à cette surface ; tandis qu'une partie pénétrera dans l'air, le reste se réfléchira dans le verre, et, comme cette réflexion aura lieu aussi normalement à la surface du crown, les rayons reviendront exactement sur eux-mêmes ; ils suivront au retour le même chemin qu'à l'aller et reviendront converger de nouveau à leur point de départ, ou tout auprès si le rayon lumineux était un peu écarté de l'axe.

C'est ce phénomène que nous allons utiliser pour résoudre un certain nombre de questions qui se posent dans la construction des objectifs.

1° *Étude de l'homogénéité des matières qu'on emploie.*

Les procédés usités couramment pour l'examen des verres à l'aide d'une loupe qui sert ou d'instrument grossissant ou d'appareil illuminateur sont suffisants pour constater les défauts isolés et d'une étendue un peu limitée ; mais ils laissent échapper d'une manière absolue certains défauts d'homogénéité mal définis qui affectent une portion un peu importante du verre, tels que, par exemple, une constitution gélatineuse

ou à demi cristallisée, comme celle que j'ai pu constater dans le flint anglais qui avait été destiné à l'objectif de 0^m,735 de l'Observatoire de Paris. J'ai rencontré également dans d'autres verres ce genre de constitution de leur matière qui les rend impropres à tout travail d'Optique.

Pour reconnaître ces défauts, on travaillera le crown d'abord sous la forme d'une lentille convergente, et, après l'avoir dressé dans un cadre qui rendra son axe optique horizontal, on installera une source lumineuse au point que nous avons désigné plus haut. et que nous appellerons *foyer d'autocollimation*, où les rayons qui ont subi deux réfractions et une réflexion viennent converger de nouveau vers leur point de départ. En plaçant l'œil à quelques millimètres en arrière de ce point, on verra la surface du verre entièrement illuminée, comme dans le troisième procédé d'exploration de L. Foucault, et l'on découvrira très facilement les défauts d'homogénéité du verre, en même temps, il est vrai, que les imperfections du travail; mais il sera facile de distinguer ces défauts les uns des autres.

Pour que ce procédé donne tout son effet, il faut que les surfaces soient convenablement travaillées et que la source n'ait pas une étendue trop considérable, tout en gardant cependant un éclat suffisant. On peut employer pour cela une lampe garnie d'une cheminée métallique portant en face du centre de la flamme une petite ouverture ronde de 0^{mm},25 à 0^{mm},5 de diamètre. Une flamme de sodium derrière une ouverture de 1^{mm} à 2^{mm} conviendra mieux encore si l'on a pu installer l'expérience dans un local suffisamment obscur; on se trouvera ainsi débarrassé des effets de dispersion, qui sont nuisibles pour l'examen en question. Les appareils employés depuis quelque temps pour le saccharimètre à pénombres conviendront très bien pour cet usage, ou, à leur défaut, une lampe à alcool salé, mais à la condition que la surface réfléchissante aura été préalablement argentée, à cause du peu d'intensité de cette flamme.

Après avoir examiné le crown de cette manière, on prendra un dessin exact des défauts qu'il renferme et on lui adjoindra le flint, qu'on aura travaillé comme il convient pour que l'ensemble de ces deux verres constitue un objectif sensiblement achromatique, qui, centré aussi bien que possible dans son barillet, sera soumis au même mode

d'examen, c'est-à-dire que, après l'avoir placé de manière que le flint soit tourné vers l'observateur, on s'éloignera de lui suivant l'axe du système, avec la lampe débarrassée de sa cheminée métallique. On verra l'image de la flamme, donnée par la réflexion sur la surface extérieure du crown, apparaître droite d'abord, grandir à mesure qu'on se recule, puis illuminer l'étendue entière du verre, pour se renverser après. Arrivé à ce moment, on remettra la cheminée en place, et l'on réglera la position de la lampe de manière à obtenir l'image à côté du point lumineux. On en recevra la lumière dans l'œil, et, sur le fond lumineux de l'ensemble des deux verres, on pourra constater les défauts; après en avoir déduit ceux qui appartiennent au crown, on reconnaitra ceux que renferme le flint.

S'il restait quelque doute sur celui des deux verres auquel appartient un défaut, on ferait tourner soit le flint, soit le crown autour de l'axe optique du système, et, selon que ce défaut persisterait au même point ou se déplacerait dans cette opération, il appartiendrait au verre fixe ou au verre déplacé.

Le jugement qu'on portera ainsi sur les verres sera d'autant plus certain que le travail aura été fait avec plus de soin et que le résidu des aberrations sera moins considérable.

2° Mesure des indices de réfraction des deux verres qui composent l'objectif.

La même méthode convient parfaitement à la mesure des indices de réfraction des verres employés. Les résultats obtenus sont exacts à moins d'une unité près du troisième ordre décimal, ce qui est très suffisant pour le calcul des courbures définitives à donner à l'objectif.

On commence par déterminer l'indice du crown. Pour cela, après l'avoir installé ainsi qu'il est indiqué plus haut, on s'assure que le point lumineux A (*fig. 1*) et son image sont bien à la même distance p du verre. La connaissance de cette distance, des rayons de courbure de la lentille et de son épaisseur centrale suffisent pour résoudre le problème.

En effet, de la relation

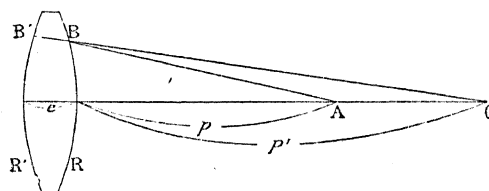
$$\frac{1}{p} - \frac{n}{p'} = \frac{n-1}{R},$$

qui lie la distance p du point lumineux à la distance p' de son image virtuelle due à la réfraction en B, nous tirons

$$n = \frac{p'(R+p)}{p(R+p')}.$$

Mais puisque, dans les circonstances où nous sommes placés, le

Fig. 1.



rayon BB' , réfracté en B, est normal à la seconde surface, le point O est le centre de cette surface et $p' = R - e$; on a donc

$$(1) \quad n = \frac{(R' - e)(R + p)}{p(R + R' - e)}.$$

Pour réaliser les mesures, on commence par déterminer très exactement les valeurs de R et R' à l'aide du sphéromètre. L'épaisseur e de la lentille en son centre s'obtient en mesurant son épaisseur au bord et ajoutant les deux flèches de courbure, qui se calculent facilement, puisque l'on connaît R , R' et le diamètre du verre.

Quant à la mesure de p , voici comment on procède. Après avoir trouvé à peu près la position de A qui réalise les conditions ci-dessus énoncées, on y place une aiguille très fine et on l'éclaire à l'aide d'une petite glace parallèle non étamée qui réfléchit la lumière d'une lampe à vapeurs de sodium. L'image de la flamme réfléchiée par la glace et par la seconde surface de la lentille occupe une certaine étendue, sur laquelle se détachent l'aiguille et son image. On s'assure, à l'aide d'un microscope faible (grossissant de 15 à 20 fois en diamètre), qu'elles sont dans le prolongement l'une de l'autre et qu'elles sont

vues en même temps avec la même netteté. Il est bon, pour cette expérience, d'argenter la surface postérieure du crown et de réduire son diamètre par un diaphragme, afin d'éviter un excès d'aberration de sphéricité, qui apporterait de l'incertitude sur la position dans laquelle l'image a le plus de netteté. Pour connaître la valeur de p , on prend une tige de bois bien droite, on applique une de ses extrémités bien dressée sur le milieu du verre, tandis qu'on marque un trait sur le bois au point correspondant à la position de l'aiguille; puis, avec un mètre bien exact, on mesure la distance du trait marqué à l'extrémité qui touchait le verre. Ces opérations doivent se faire avec la plus grande précision possible (à moins de 0^{mm},5 près), car p est multiplié, dans la formule (1), par $R + R' - e$, et une petite erreur dans sa mesure en amènerait une qui serait relativement grande dans le produit, et par suite dans la détermination de n .

Nous prendrons pour exemple un objectif de 0^m,17 de diamètre qui a été construit spécialement pour ce genre d'études. On a prélevé un échantillon dans l'angle de chacun des deux plateaux, flint et crown, et l'on en a fait des prismes.

Pour le crown, l'angle réfringent étant de 47° 24', le double de l'angle de la déviation minimum pour la raie D (lumière du sodium) a été de 55° 59'; on en tire

$$n_D = 1,5215.$$

Pour le flint, l'angle du prisme étant de 43° 15', le double de l'angle de la déviation minimum a été trouvé de 60° 2'; on en déduit

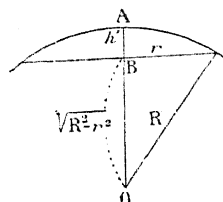
$$n'_D = 1,6191.$$

Le rapport des pouvoirs dispersifs $\frac{\partial \mu}{\mu - 1} : \frac{\partial \mu'}{\mu' - 1}$ ayant été trouvé ultérieurement égal à environ 0,65, on a donné aux deux verres les courbures suivantes, qui se rapprochent de celles du système de Herschel :

$$\begin{array}{l} \text{Crown} \dots\dots \left\{ \begin{array}{l} R_1 = 1,379, \\ R_2 = 0,4915 \end{array} \right. \quad (\text{épaisseur au bord, } 6^{\text{mm}}, 8). \\ \text{Flint} \dots\dots \left\{ \begin{array}{l} R_3 = 0,4995 \text{ concave,} \\ R_4 = 2,092 \text{ convexe} \end{array} \right. \quad (\text{épaisseur au bord, } 15^{\text{mm}}). \end{array}$$

Les flèches de courbure h et h' (*fig. 2*) du crown s'obtiennent en re-

Fig. 2.



marquant que $h = OA$ ou $R - OB$. Or, $OB = \sqrt{R^2 - r^2}$, en appelant r le demi-diamètre du verre; on a donc

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2}.$$

Pour la première surface du crown,

$$R_1 = 1^m, 379, \quad \sqrt{R^2 - r^2} = 1^m, 3765, \quad h' = 2^{mm}, 5.$$

Pour la seconde surface du crown,

$$R_2 = 0^m, 4915, \quad \sqrt{R^2 - r^2} = 0^m, 4841, \quad h'' = 7^{mm}, 5.$$

L'épaisseur du crown au centre est donc égale à son épaisseur au bord, augmentée de la somme de ces deux flèches :

$$6^{mm}, 8 + 2^{mm}, 5 + 7^{mm}, 4 = 16^{mm}, 7.$$

Pour la première surface du flint,

$$R_3 = 0^m, 4995, \quad \sqrt{R^2 - r^2} = 0, 4922, \quad h''' = 7^{mm}, 3.$$

Pour la seconde surface du flint,

$$R_4 = 2^m, 092, \quad \sqrt{R^2 - r^2} = 2, 0903, \quad h^{iv} = 1^{mm}, 7.$$

L'épaisseur centrale du flint est donc

$$15^{mm} + 1, 7 - 7, 3 = 9^{mm}, 4.$$

On a installé le verre comme il a été dit plus haut, éclairant l'aiguille avec la flamme du sodium, et l'on a mesuré avec la plus grande exactitude possible la distance p de l'aiguille à la première surface du verre.

Dans la première expérience, le crown avait été retourné, c'est-à-dire qu'il présentait sa face la moins convexe vers l'opérateur et que la réflexion avait lieu sur la surface de rayon le plus court. On a trouvé $p = 0^m, 279$; on a donc ici

$$\begin{aligned} R' - e &= 0,4915 - 0,0167 = 0,4748, \\ R + p &= 1,379 + 0,279 = 1,658, \\ R + R' - e &= 1,8538, \\ p &= 0,279. \end{aligned}$$

Ces quantités introduites dans la formule (1) ont donné, calcul fait,

$$n = 1,52205.$$

Le crown fut alors argenté sur sa surface la moins convexe et remis dans sa position ordinaire, le côté le plus courbe tourné vers l'observateur : la nouvelle valeur de p fut égale à $0^m, 4585$.

Ici

$$\begin{aligned} R' - e &= 1,379 + 0,0167 = 1,3957, \\ R + p &= 0,4915 + 0,4585 = 0,950, \\ R + R' - e &= 1,8538, \\ p &= 0,4585. \end{aligned}$$

Le calcul donne

$$n_p = 1,5222.$$

Nous avons dit que la mesure de n_p à l'aide du prisme avait donné $n_p = 1,5215$: on voit donc que, convenablement faites, ces mesures diffèrent très peu de celles que donne la mesure goniométrique.

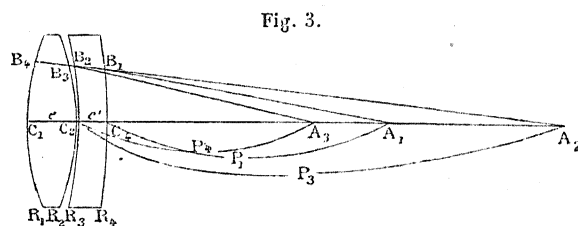
L'indice de réfraction du crown étant ainsi déterminé, on peut procéder à la mesure de celui du flint.

Pour cela, après avoir assemblé et centré les deux verres dans leur barillet, comme on l'a fait pour l'examen des matières, on disposera celui-ci, dans le cadre vertical, dans le sens où se présente l'objectif

quand on le regarde du côté de l'oculaire, c'est-à-dire le flint tourné vers soi.

On règlera l'aiguille et son éclairage de manière qu'elle se trouve en coïncidence avec son image, ce dont on s'assurera à l'aide du microscope; puis on mesurera leur distance P au verre. On répétera cette opération jusqu'à ce que la valeur de P trouvée soit constante; la détermination de l'indice n' se fera alors par les considérations suivantes.

Un rayon partant de A_1 , position de l'aiguille, se réfracte en B_1 sui-



vant la direction A_2B_2 (*fig. 3*); arrivé en B_2 , il subit de nouveau la réfraction suivant A_3B_3 , puis il rencontre en B_3 la surface intérieure du crown, qui lui donne la direction normale à la surface extérieure R_1 , où il se réfléchit en B_4 pour revenir sur lui-même à son point de départ. C'est le principe même de la méthode.

Considérons le rayon de retour. Comme il est normal en B_4 à la surface R_1 , la direction qu'il prend à la sortie du crown en B_3 est évidemment celle qu'il avait prise lorsque le crown était seul, et nous avons alors mesuré exactement la distance $C_2A_3 = 0^m,4585$; nous l'appellerons P_4 .

Ce rayon rencontre le flint en B_2 et prend la direction B_2A_2 . Soit P_2 la distance C_2A_2 ; on aura la relation

$$(2) \quad \frac{1}{P_4} - \frac{n}{P_2} = \frac{n' - 1}{R_3}.$$

Le rayon traverse l'épaisseur du flint pour se réfracter définitivement en B_1 suivant B_1A_1 . Si nous remarquons que la distance C_4A_2 ou $P_2 = C_2A_2 - e' = P_3 - e'$, nous aurons, en appelant P_1 la distance C_4A_1 ,

$$(3) \quad \frac{1}{P_1} - \frac{n}{P_3 - e'} = \frac{n' - 1}{R_1}.$$

En réalisant l'expérience, nous trouvons

$$P_1 = 0,80475.$$

Nous avons deux équations à deux inconnues P_3 et n' , car nous avons mesuré R_4, R_3, P_4, P_1 ; nous pourrions donc, en éliminant P_3 , tirer la valeur de n' , mais le calcul deviendrait un peu trop compliqué pour le but pratique que nous nous proposons. Il est plus simple, puisque nous connaissons les rayons R_3 et R_4 ainsi que les distances focales conjuguées P_1, P_4 , de prendre une valeur approchée de n' , que nous obtiendrons en négligeant l'épaisseur du flint, puis de l'essayer dans les formules (2) et (3) pour voir si la valeur de P_4 ainsi calculée concorde avec celle que nous a donnée l'expérience.

Par une couple d'essais nous aurons rapidement la valeur exacte de n' .

Nous avons pour cela la relation

$$\frac{1}{P_4} - \frac{1}{P_1} = (n' - 1) \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right),$$

d'où l'on tire

$$n' = 1 + \frac{\frac{1}{P_4} - \frac{1}{P_1}}{\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4}}.$$

Si nous mettons, pour les quantités qui entrent dans le second membre, les valeurs

$$P_4 = 0,4585, \quad P_1 = 0,80475$$

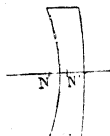
que nous a fournies l'expérience, nous aurons

$$n' = 1 + \frac{2,181025 - 1,242622}{2,002002 - 0,4780115} = 1,6157.$$

Ce nombre est évidemment trop faible, d'après ce qu'on sait sur l'influence de l'épaisseur relativement à la valeur des distances focales. Le verre étant assez fortement ménisque, le premier point nodal N (fig. 4) est en dehors de la surface concave et le second N' est bien plus près d'elle que de la surface convexe, ce qui change les valeurs de P_4 et de P_1 . En faisant le calcul d'après la théorie de Gauss, on trouve que P_4 doit être

allongé de 1^{mm},8 et P₁ de 7^{mm},7. Avec ces corrections on aurait déjà 1,618; mais, si l'on tient compte du petit écartement laissé entre les

Fig. 4.



deux verres pour les empêcher de se rayer l'un l'autre pendant les essais, on trouve

$$n' = 1,619.$$

C'est cette dernière valeur que nous introduirons dans les formules (2) et (3). Nous avons (2)

$$\begin{aligned} \frac{1}{P_3} &= \frac{1}{n'} \left(\frac{1}{P_1} - \frac{n'-1}{R_3} \right), & \frac{1}{P_4} &= 2,181025 \\ \frac{1}{P_3} &= 0,941786 : 1,619, & \frac{n'-1}{R_3} &= 1,239239 \\ & & & \underline{0,941786,} \end{aligned}$$

d'où

$$P_3 = 1,7191.$$

La formule (3) nous donne

$$\frac{1}{P_1} = \frac{n'}{P_3 - e'} + \frac{n'-1}{R_1},$$

où

$$\frac{1}{P_1} = 1,619 \times 0,584898 + 0,619 \times 0,4780115,$$

$$\frac{1}{P_1} = 1,2428388,$$

d'où

$$P_1 = 0,80461.$$

Nous avons vu plus haut que la mesure directe nous a donné

$$P = 0,80475.$$

Si, au lieu de 1,619, nous avons pris $n' = 1,620$, nous aurions

trouvé

$$P_1 = 0,8056.$$

On voit que 1^{mm} de déplacement de l'aiguille correspond ici à une unité du troisième ordre décimal dans l'indice. Comme une telle erreur d'expérience n'est pas présumable, on reconnaîtra que l'exactitude du résultat est assurée.

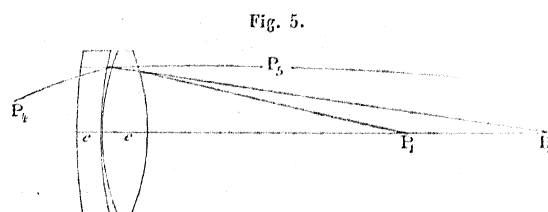
La mesure par le goniomètre avait donné aussi 1,6191, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

La marche que nous venons de suivre offre cet avantage qu'elle ne fait intervenir que des quantités mesurées directement et que les déterminations d'indices du crown et du flint sont indépendantes l'une de l'autre.

On peut, comme moyen de contrôle, retourner l'objectif et faire l'autocollimation sur la surface extérieure du flint, en l'argentant à son tour après avoir enlevé l'argent qui avait été déposé sur le crown. En opérant ainsi sur notre objectif, j'ai trouvé que l'aiguille et son image se trouvaient en coïncidence à la distance de 1^m,0185 du milieu de la surface du verre.

(Nota. — J'ai opéré avec des surfaces argentées parce que je n'employais comme source lumineuse que la lampe ordinaire à alcool salé dont l'intensité est très faible par rapport à la lampe à gaz et à l'éolipyle.)

La détermination des positions des foyers successifs se fera au moyen des relations suivantes (fig. 5):



Réfraction à la première surface du crown,

$$(4) \quad \frac{1}{p_1} - \frac{n}{p_2} = \frac{n-1}{R_1}, \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{p_2} = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{p_1} - \frac{n-1}{R_1} \right);$$

Réfraction à la seconde surface du crown,

$$(5) \quad \frac{n}{p_3} + \frac{1}{p_4} = \frac{n-1}{R_2}, \quad \text{d'où} \quad \frac{1}{p_4} = \frac{n-1}{R_2} - \frac{n}{p_3}$$

et

$$(6) \quad p_3 = p_2 + e;$$

Réfraction à la surface concave du flint,

$$(7) \quad \frac{n}{p_3} + \frac{1}{p_4} = \frac{n'-1}{R_3}.$$

Comme la distance p_5 doit être égale à $R_4 - e'$ pour que le rayon revienne sur lui-même, p_4 et p_5 se trouvent connus, et l'on peut prendre n' pour inconnue dans l'équation (7), ce qui donne

$$(8) \quad n' = \frac{\frac{1}{p_4} + \frac{1}{R_3}}{\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4 - e'}}.$$

En effectuant les calculs sur les données

$$R_1 = 1,379, \quad e = 0,0167,$$

$$R_2 = 0,4915, \quad e' = 0,0094,$$

$$R_3 = 0,4995, \quad p_1 = 1,0185,$$

$$R_4 = 2,092,$$

nous avons, par l'équation (4),

$$\frac{1}{p_2} = 0,39639, \quad \text{d'où} \quad p_2 = 2,52277,$$

et par suite

$$p_3 = p_2 + e = 2,53947.$$

L'équation (5) nous donne

$$\frac{1}{p_4} = 0,462723, \quad \text{d'où} \quad p_4 = 2,16113,$$

et, puisque

$$p_3 = R_1 - e' = 2,0826,$$

nous trouvons enfin, d'après l'équation (8),

$$n' = \frac{2,464725}{1,5218} = 1,6196.$$

Si l'on avait pris 1^m,018 pour distance de l'aiguille au crown, la valeur de n' eût été trouvée égale à 1,6193.

On voit, en résumé, que par l'emploi de cette méthode, qui n'exige qu'un matériel d'une simplicité extrême, il y a un accord très satisfaisant entre toutes les déterminations, et qu'elle peut suffire à tous les besoins de la préparation et de la construction des objectifs astronomiques.

En effet, dans une étude des méthodes qui permettent la recherche du rapport des coefficients de dispersion et à la rédaction de laquelle je mets une dernière main, je donnerai les moyens qui conviennent le mieux pour corriger l'aberration chromatique; mais je ferai remarquer dès à présent que la méthode d'*autocollimation directe* fournit la possibilité de constater d'une manière précise l'état d'achromatisme d'un objectif à un moment donné de sa construction.

Soumettons, en effet, à l'autocollimation un objectif que je supposerai bien achromatique. Les rayons qui sortiront de la surface du crown lui seront normaux, et, par conséquent, elle ne leur fera subir aucune dispersion. Il sera donc indifférent que la réfraction à cette surface soit remplacée par la réflexion, et l'état d'achromatisme, qui, comme on le sait, est indépendant de la distance du point lumineux (quand les verres ne sont pas écartés comme dans l'objectif dialytique), sera conservé dans le double trajet des rayons à travers les verres. Le résidu d'aberration chromatique sera seulement exagéré, et, si on le réduit à un minimum, il sera *a fortiori* diminué dans l'objectif employé à l'observation directe.

Observations sur les moyens employés pour mesurer les rayons
de courbure des objectifs.

La détermination des indices de réfraction que nous avons donnée plus haut suppose la connaissance très exacte des rayons de courbure des verres. La mesure de ces rayons peut être obtenue de deux manières : trigonométriquement ou par l'emploi du sphéromètre. Je ne m'étendrai pas sur la première; Simon Stampfer a donné, dans l'*Annuaire de l'Institut I. R. polytechnique de Vienne* (1828), une étude complète de cette méthode, dont il s'est servi pour la mesure à l'aide du théodolite des indices et rayons de courbure des objectifs de Fraunhofer. Le choix de cette méthode était justifié par le respect qu'on devait porter aux œuvres du savant artiste, mais elle est trop laborieuse pour pouvoir entrer dans la pratique de l'Optique.

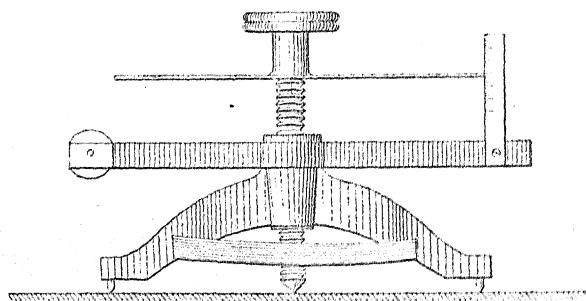
Le sphéromètre est d'un emploi plus commode et plus sûr, et, en prenant un peu de précaution, on arrive à ne pas rayer les verres sur lesquels on l'applique; mais, tel qu'il était construit généralement, sa sensibilité n'était pas en rapport avec la limite de ses indications; il pouvait indiquer le dix-millième de millimètre et ne donnait d'indications réellement constantes qu'au cinq-centième.

Pour remédier à cet inconvénient, j'ai vu qu'il fallait 1° rendre l'instrument plus léger tout en lui conservant une rigidité suffisante, 2° abaisser le centre de gravité le plus possible, et surtout 3° *amener ce centre de gravité dans l'axe de la vis* à l'aide d'un contre-poids faisant équilibre à la petite règle qui sert à mesurer le nombre de tours du plateau.

Après un premier essai dans cette voie en 1867, et qui m'avait donné de bons résultats, j'ai demandé à M. Eichens, qui me les a construits avec une grande perfection, deux instruments de grandeurs différentes, l'un de 0^m,05, l'autre de 0^m,134 de diamètre. Ce dernier a les pieds et le cercle qui les relie, ainsi que l'écrou central avec sa vis, en bronze d'aluminium; ses pointes seules sont en acier. Le plateau, son bouton et la traverse qui porte le contre-poids sont en alu-

minium. L'instrument accuse nettement et avec sûreté le dix-millième de millimètre.

Fig. 6.



Les procédés généralement employés pour mesurer le rayon r du cercle qui passe par les pointes sont défectueux. Celui auquel j'ai recours, et dont treize ans d'expérience m'ont démontré l'exactitude pratique, a cet avantage qu'il mesure la quantité $\frac{r^2}{2}$ dans des conditions qui sont les mêmes que celles dans lesquelles elle devra être employée.

On prend une paire d'outils de verre de 0^m,16 au moins de diamètre, tels qu'on les emploie pour faire les surfaces des objectifs et miroirs; après les avoir bien réunis l'un sur l'autre, on polit l'outil concave sur l'outil convexe jusqu'à ce que sa surface soit suffisamment réfléchissante, puis on l'installe dans un cadre vertical, et l'on place au centre de courbure une aiguille éclairée par une lampe ordinaire, comme nous l'avons dit plus haut. On s'assure avec le microscope faible de la coïncidence de position de l'aiguille et de son image, puis on procède, comme plus haut, à la mesure de la distance de l'aiguille au miroir. (J'ai pour cela un mètre bien semblable à celui d'après lequel a été construite la vis.) On obtient ainsi la valeur exacte du rayon de courbure R des deux verres.

Le sphéromètre sera alors posé sur la surface concave, qu'on aura rendue horizontale. Après avoir descendu la pointe de la vis jusqu'à ce que l'instrument, excité par un mince fil de laiton fixé dans un manche, commence à traîner autour de son centre, on lira l'indication de la petite règle et du plateau; puis on le posera sur un plan éprouvé par la

méthode optique. On lui donnera le même commencement de mobilité que tout à l'heure, et la différence entre la nouvelle indication et la précédente donnera la flèche de courbure du miroir pour le cercle de rayon r .

De la relation connue

$$(2R - h)h = r^2$$

on déduira r^2 , qui est la seule inconnue. Cette valeur, qui présentera alors l'exactitude suffisante, s'emploiera pour trouver les valeurs de R correspondant à d'autres valeurs de h . On aura pour cela

$$R = \frac{r^2}{2} : h + \frac{h}{2}.$$

Cette valeur de $\frac{r^2}{2}$ convient aux surfaces concaves. Pour avoir celle qui convient aux surfaces convexes, et qui en diffère, puisque les points de contact ne sont pas les mêmes dans les deux cas (*fig. 7*)

Fig. 7.



on posera le sphéromètre sur l'outil convexe, qui, par la manière même dont il a été obtenu, a le même rayon de courbure que le concave sur lequel on vient d'opérer; on mesurera de même la flèche h' , et, reportant le nombre qui l'exprime dans la formule, on en tirera la nouvelle valeur de r^2 .

On devra refaire de temps à autre la détermination de r^2 , à cause de l'usure des pointes et aussi lorsqu'on devra déterminer des valeurs de R très différentes de celle pour laquelle on a opéré; il sera bon de faire une mesure directe sur une surface de courbure voisine de celle qu'on veut mesurer.

Avec mon sphéromètre de 0^m,1341 de diamètre, $\frac{r^2}{2} = 2252$ pour les surfaces concaves et 2246 pour les surfaces convexes correspondantes.

Cette différence paraît faible, puisque le premier nombre donne $r = 67^{\text{mm}}, 02$ et le second $67^{\text{mm}}, 11$; la différence n'est que de $0^{\text{mm}}, 09$. Elle est inappréciable à la mesure directe au compas et l'incertitude du point à viser avec la machine à diviser ne permettrait pas de la constater; cependant, si l'on se reporte à l'objectif que nous avons cité plus haut, on trouve qu'elle a une grande importance. La valeur de la flèche h , pour la surface convexe du flint, $= 1^{\text{mm}}, 074$, qui, avec $\frac{r^2}{2} = 2246$, nous a donné $R = 2^{\text{m}}, 0917$, nous aurait donné $R = 2^{\text{m}}, 0973$ avec $\frac{r^2}{2} = 2252$, ce qui aurait introduit des erreurs très appréciables dans nos résultats.
