En appelant y le diamètre de l'objectif.

— y' — du cercle oculaire, l'égalité précédente devient

$$\frac{y'}{y} = \frac{O_1O'}{O_1O}, \quad \text{d'où} \quad \frac{y}{y'} = \frac{O_1O}{O_1O'}.$$

Or de la relation

$$\frac{1}{O_1O} + \frac{1}{O_1O'} = \frac{1}{f}$$

nous déduisons

$$\frac{O_1O}{O_1O'} = \frac{O_1O - f}{f}.$$

O_1O est sensiblement égal à $F + f$. Donc

$$\frac{O_1O}{O_1O'} = \frac{F}{f}, \quad \text{d'où} \quad \frac{y}{y'} = \frac{F}{f} = G.$$

Donc le rapport $\frac{y}{y'}$ est précisément égal au grossissement vrai linéaire Il suffit donc de mesurer y' et y et d'en prendre le rapport.

Opération : Dynamètre de Ramsden. — La mesure de y' se fait avec précision au moyen du *dynamètre* de Ramsden.

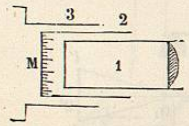

Fig. 582.

C'est une petite loupe engagée dans un système de trois tubes, à deux tirages (fig. 582).

(1) est le tube qui porte la loupe.

(2) est un tube portant un micromètre M en corne translucide, divisé en centièmes de millimètre.

(3) est un troisième tube, ou plutôt un anneau où s'engage le système des deux premiers tubes, et qu'on peut adapter à l'oculaire de la lunette.

On visse la garniture 3 sur l'oculaire de la lunette. On enfonce 1 dans 2 jusqu'à ce qu'on voie nettement l'image du micromètre, puis le tout dans 3 jusqu'à ce que l'image du cercle oculaire vienne se peindre sur celle du micromètre.

On peut évaluer alors, avec toute la précision d'une mesure à la loupe, la grandeur de y'.

Pour mesurer y, c'est-à-dire le diamètre de la portion efficace de l'objectif, on se sert d'un compas dont les pointes, placées sur l'objectif, viennent former leur image sur la circonférence du *cercle oculaire.*

511. **Description détaillée de la lunette astronomique.** — *Oculaire composé.* — Pour simplifier la construction dans la figure ci-dessus, on a supposé un oculaire simple ou *oculaire de Képler;* mais en réalité, dans la lunette astronomique, l'oculaire est toujours *composé* (positif ou négatif) et il est monté dans un tube indépendant de celui qui porte l'objectif.

Tube à tirage. — Le corps de la lunette se compose d'un gros tube de laiton qui est monté sur pied, de manière à pouvoir recevoir deux mouvements, l'un latéral autour d'un axe vertical, l'autre dans un plan vertical autour d'une charnière. Le tube est noirci à l'intérieur, afin de détruire toute réflexion qui renverrait vers l'oculaire d'autres rayons que ceux qui viennent directement de l'astre qu'on observe. A l'extrémité p (fig. 583) est l'objectif, qui est à grand diamètre et achromatique. A l'autre extrémité est un tube à petit diamètre m, dans lequel sont fixés les deux verres de l'oculaire.

Tirage et mise au point. — Dans les microscopes, on peut rapprocher à volonté l'objectif des objets et l'on obtient ainsi la mise au point. Dans les lunettes, ce rapprochement étant impossible, c'est l'oculaire qu'on déplace par rapport à l'image aérienne fournie par l'objectif. Pour cela, le tube m glisse à frottement doux dans un tube plus gros r. Celui-ci se prolonge dans le corps de la lunette; il est muni d'une crémaillère, dans laquelle engrène un petit pignon qu'on fait tourner à l'aide d'un bouton placé sur la droite de la lunette (mais non visible dans la figure). Pour *mettre au point*, on tire ou l'on enfonce, d'abord à la main, le tube m jusqu'à ce qu'on obtienne une image assez nette; puis on déplace d'un mouvement lent, à l'aide du pignon, le tube r et avec lui le porte-oculaire m. Les *presbytes* doivent tirer l'oculaire et les *myopes* doivent l'enfoncer plus que les *emmétropes* (564). L'image renversée qu'on obtient est sans inconvénient pour l'observation des astres.

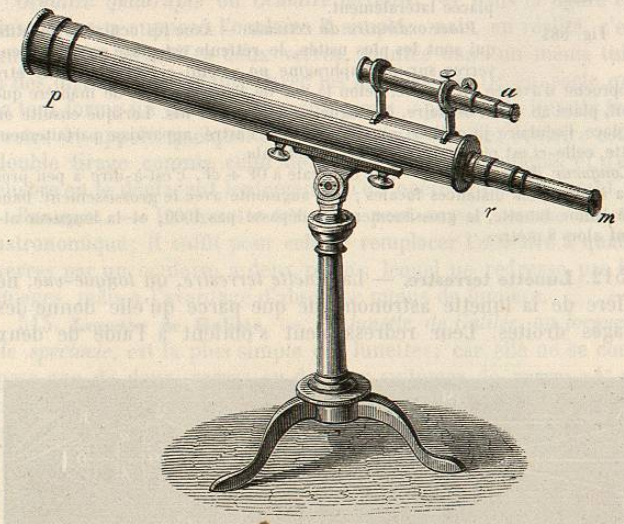

Fig. 583.

Chercheur. — Sur le tube principal est une petite lunette a, qu'on nomme *chercheur*, dont l'axe optique est disposé parallèlement à celui de la grande lunette. Les lunettes d'un grand pouvoir amplifiant ont très peu de champ et ne sont pas d'un usage commode pour chercher un astre : c'est pourquoi l'on regarde d'abord avec le chercheur, qui grossit moins, mais qui a plus de champ; on observe ensuite avec la lunette, dont l'axe se trouve nécessairement placé dans la direction de l'objet.

Réticule. — La lunette astronomique, telle qu'on vient de la décrire, ne pourrait pas servir à déterminer avec précision la position d'un point qu'on y observe, car elle peut subir des déplacements angulaires assez étendus sans que le point cesse d'être visible dans le champ. Il importe donc d'avoir, dans la lunette, un point de repère fixe, à l'aide duquel on puisse obtenir des visées précises. On y arrive à l'aide du *réticule* (fig. 584). C'est un système dû à Huygens, formé de deux fils d'araignée, ou de deux fils de platine extrêmement fins, qui sont tendus, l'un vertical, l'autre horizontal, sur un diaphragme; celui-ci est

placé en avant de l'oculaire, au lieu même où doit se former l'image aérienne donnée par l'objectif.

Axe optique et ligne de visée. — La droite qui joint le point de croisement des fils au centre optique de l'objectif est l'*axe optique* de la lunette. En déplaçant le point de croisement, on déplace l'axe optique; mais en général on fait coïncider celui-ci avec l'axe géométrique, c'est-à-dire avec l'axe du corps de la lunette. L'axe optique ainsi déterminé devient la *ligne de visée*. Pour déterminer un point, on dirige la lunette de manière que l'image se forme exactement au point de croisement des fils. Au jour, les fils du réticule se détachent nettement dans le champ de la lunette; *dans l'obscurité*, il faut les éclairer par la lumière d'une bougie placée latéralement.

Fig. 584.

Place ordinaire du réticule. — Avec les oculaires négatifs, qui sont les plus usités, le réticule est placé entre les deux verres sur un diaphragme *pq* : celui-ci (fig. 577) doit être rapproché d'avance ou reculé, selon la vue de l'observateur, de manière que l'œil, placé au point oculaire, distingue nettement les fils. Lorsque ensuite on déplace l'oculaire jusqu'à ce que l'image de l'astre apparaisse parfaitement nette, celle-ci est placée dans le plan du réticule.

Longueur de la lunette. — Elle est égale à OF + cF, c'est-à-dire à peu près à la somme des distances focales ; elle augmente avec le grossissement. Dans une bonne lunette, le grossissement ne dépasse pas 1000, et la longueur atteint alors 8 mètres.

512. **Lunette terrestre.** — La *lunette terrestre*, ou *longue-vue*, ne diffère de la lunette astronomique que parce qu'elle donne des images droites. Leur redressement s'obtient à l'aide de deux

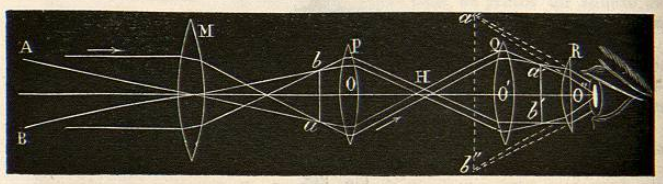

Fig. 585.

verres convergents P et Q (fig. 585), placés dans le même tube que l'oculaire et à une distance constante de ce verre. La lentille P a son foyer principal dans le plan même où doit venir se former l'image aérienne fournie par l'objectif.

Marche des rayons. — Soient M l'objectif, A et B les faisceaux lumineux émanés des deux extrémités de l'objet (qu'on suppose placé très loin, en dehors des limites de la figure) : l'objectif fournit une image réelle et renversée *ab* de l'objet, qu'on construit d'après les règles ordinaires. Les deux faisceaux qui divergent des extrémités *a* et *b* (ainsi que des autres points) de l'image aérienne se changent en faisceaux parallèles en traversant la lentille P, et ces fais-

ceaux parallèles, après s'être croisés en H, rencontrent la lentille Q, qui les fait converger respectivement en *a'b'* dans son plan focal. Il se forme donc, en *a'b'*, une image renversée de *ab*, et, par conséquent, droite par rapport à l'objet. Et si l'on regarde l'image *a'b'* avec une loupe R, on voit une image *a''b''* virtuelle et amplifiée de AB.

Lorsque les deux lentilles P et Q sont identiques, les images *ab* et *a'b'* sont égales, et le grossissement est le même que dans la lunette astronomique, c'est-à-dire le rapport de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire.

Oculaire quadruple ou *Oculaire terrestre.* — Dans la figure ci-dessus, on a supposé l'oculaire R simple; mais, en réalité, c'est un oculaire négatif à deux verres, montés dans un même tube à des distances constantes avec les lentilles P et Q; en sorte que le tout forme un *oculaire à quatre verres*, spécial à la lunette terrestre et appelé quelquefois *oculaire terrestre*. Cet oculaire est à double tirage comme celui de la lunette astronomique, et c'est encore en le déplaçant lentement qu'on opère la mise au point.

Remarque. — La lunette terrestre peut servir comme lunette astronomique; il suffit pour cela de remplacer l'oculaire à quatre verres par un oculaire à deux verres, lequel ne redresse pas les images, mais a l'avantage d'absorber moins de lumière.

513. **Lunette de Galilée.** — La *lunette de Galilée*, ou *lorgnette de spectacle*, est la plus simple des lunettes; car elle ne se compose que de deux verres ou de deux systèmes de verres : 1° un objectif convergent et achromatique M ; 2° un oculaire divergent et achromatique N (fig. 586). Le premier est un système conver-

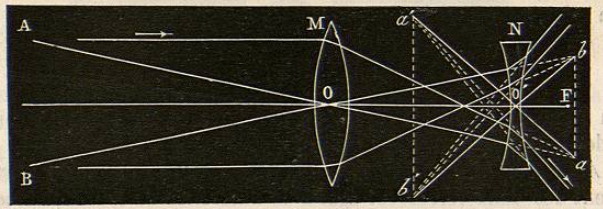

Fig. 586.

gent, constitué par une lentille biconcave en *flint-glass*, renfermée entre deux lentilles convexes, en verre ordinaire ou *crown-glass* (fig. 587). L'oculaire est une lentille convexe en *flint*, embrassée par deux lentilles concaves en crown. Le corps de la lunette se compose d'un tube, gros et court, portant l'objectif, dans lequel peut glisser un tirage portant l'oculaire (fig. 587).

Marche des rayons. — Représentons l'objet lumineux par les deux faisceaux A et B (fig. 586) émanés de ses extrémités : son image tend à aller se former en *ba*, renversée, réelle et plus petite que l'objet. Mais supposons qu'on interpose l'oculaire N sur le trajet des rayons convergents, de manière que son foyer F soit placé en deçà de l'image *ab* : celle-ci devient en quelque sorte *virtuelle* et les rayons qui iraient la former *réellement*, s'ils n'étaient pas interceptés, se réfractent en traversant l'oculaire de manière à s'écarter respectivement des axes secondaires *b*O et *a*O. Pour trouver la marche que prennent ces rayons à travers l'oculaire, il suffit de considérer l'image *ab* comme un objet virtuel qui serait placé derrière la lentille divergente N, et d'en construire l'image d'après les règles générales. On trouve ainsi que les rayons sont réfractés par l'oculaire de manière que l'œil placé derrière reçoive ces rayons mêmes et aperçoive en *a'b'* une autre image virtuelle redressée et amplifiée.

Fig. 587.

Grossissement. — De même que dans la lunette astronomique et dans tous les télescopes (dioptriques ou catoptriques), il a pour valeur limite le rapport $\frac{F}{f}$ de la distance focale de l'objectif à celle de l'oculaire. En effet, on a

$$G = \frac{a'O'b'}{AOB} = \frac{bO'a}{bOa} = \frac{OF}{O'F} = \frac{F}{f},$$

en admettant que les foyers de l'oculaire et de l'objectif coïncident.

Avantages et inconvénients. — Il résulte de là que l'écartement des deux verres est égal à la différence de leurs distances focales, et par suite que la lunette de Galilée est très courte et très portative. Elle permet de voir les objets dans leur véritable position, et de plus, n'ayant que deux verres, elle absorbe peu de lumière. Mais, à cause de la divergence des rayons émergents, elle a peu de champ, et il est nécessaire de placer l'œil très près de l'oculaire.

Pour la mise au point, ce dernier est placé dans un tube à tirage, qui permet de le rapprocher ou de l'écarter de l'objectif.

Historique et usages. — Les premières lunettes de Galilée ne donnaient qu'un grossissement de 4 à 7 fois en diamètre. La plus puissante qui ait été construite et employée par Galilée ne grossissait que 32 fois. Ce furent les premiers télescopes dirigés vers le ciel. C'est avec ces instruments imparfaits que l'illustre savant fit ses plus belles découvertes, par exemple les montagnes de la lune, les satellites de Jupiter et les taches du soleil[1].

Aujourd'hui, la lunette de Galilée n'est guère plus usitée en astronomie, à cause de son faible grossissement. On l'utilise surtout comme *lunette terrestre*, pour examiner les objets peu éloignés. A grossissement égal, elle est beaucoup moins longue que les lunettes ordinaires et par suite d'un usage plus commode.

514. **Jumelles** ou **Lorgnette binoculaire.** — On emploie surtout la lunette de Galilée comme *lorgnette de spectacle*, soit simple, soit *double*. Dans ce dernier cas, la vision est *binoculaire*, c'est-à-dire qu'il se forme une image dans chaque œil.

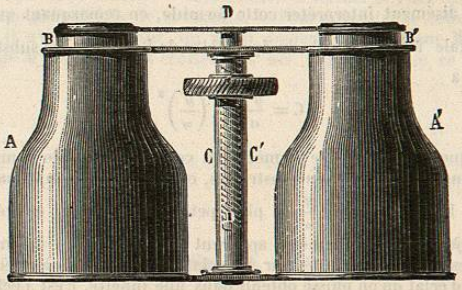

Fig. 588.

Un système de bouton à crémaillère (fig. 588) permet de manœuvrer simultanément les tirages des deux lunettes.

515. **Clarté dans les lunettes.** — On appelle *clarté* le rapport de la quantité de lumière qu'on recoit sur la rétine en regardant un objet avec une lunette, à celle qu'on recoit en regardant le même objet à l'*œil nu*. Il y a deux cas bien distincts à considérer : 1° celui où la lunette a un grossissement, 2° celui où la lunette n'a pas de *grossissement*. Le premier est le cas des objets lumineux qui ont un diamètre apparent sensible, comme les planètes ou les objets terrestres, et le deuxième celui des objets qui n'ont pas de diamètre apparent *sensible*, comme les étoiles de toutes grandeurs.

1. L'époque de l'invention des lunettes n'est pas connue. Les uns en attribuent la découverte à Roger Bacon, dans le XIIIe siècle; les autres à J.-B. Porta, à la fin du XVIe; quelques-uns, enfin, à Jacques Métius, Hollandais, qui aurait trouvé par hasard, vers 1609, qu'en combinant deux verres, l'un concave, l'autre convexe, on voyait les objets plus grands et plus rapprochés.

1° *Cas des planètes.* — La quantité de lumière envoyée par l'unité de surface de la planète dans la lunette qui est pointée sur elle, est évidemment proportionnelle à l'*ouverture* de la lunette, c'est-à-dire à la section de l'objectif. En désignant par 1 l'intensité du faisceau envoyé par l'unité de surface de l'objet, nous pourrons représenter par $\frac{y^2}{1}$ ou y^2 l'intensité du faisceau qui pénètre dans la lunette (y est le diamètre de l'objectif). Si la lunette n'avait pas de grossissement, ce même coefficient y^2 représenterait l'intensité (par unité de surface) du faisceau qui pénètre dans l'œil. Mais la lunette a généralement un grossissement linéaire G : donc la quantité de lumière y^2 s'éparpille, non plus sur une surface 1, mais sur une surface égale à G^2; par conséquent $\frac{y^2}{G^2}$ est l'intensité du faisceau transmis par la lunette.

D'autre part, l'intensité du faisceau qui serait envoyé directement à l'œil nu par l'unité de surface de l'astre est *proportionnelle* à l'ouverture de la pupille : on peut donc la représenter par ω^2 (en appelant ω le diamètre de la pupille). On aura donc la clarté C en prenant le rapport de ces deux intensités :

$$[1] \qquad C = \frac{\frac{y^2}{G^2}}{\omega^2} = \frac{y^2}{\omega^2} \cdot \frac{1}{G^2}.$$

On peut aisément interpréter cette formule, en remarquant que la valeur de G est égale à $\frac{y^2}{y'^2}$ (méthode du dynamètre de Ramsden). En substituant cette valeur, on a

$$[1\ bis] \qquad C = \frac{y'^2}{\omega^2} = \left(\frac{y'}{\omega}\right)^2.$$

On sait que y' représente le diamètre du cercle oculaire de Ramsden. Or, en général, dans les lunettes bien construites, ce diamètre est *inférieur* à celui de la pupille. Donc le rapport $\frac{y'}{\omega}$ est plus petit que 1 : donc, en général, pour tous les objets ayant un diamètre apparent sensible, l'éclat des images fournies par les lunettes est inférieur à l'éclat des objets vus à l'œil nu; et le maximum d'éclat qu'on puisse obtenir dans une lunette, c'est l'éclat de la *vision directe.*

2° *Cas des étoiles.* — L'image d'une étoile n'a pas plus de diamètre sensible que l'étoile elle-même, vue à l'œil nu. Par conséquent, pour comparer les éclats de l'image et de son objet, il n'y a qu'à comparer les intensités des deux faisceaux incidents (et sur la lunette et sur l'œil). Or le premier a une intensité qui peut être représentée par y^2 (y étant le diamètre de l'objectif). Cette intensité est conservée dans le faisceau émergent de la lunette, qui pénètre dans l'œil, puisque ce faisceau, étant concentré dans le diamètre du cercle oculaire y', pénètre tout entier par la pupille de l'œil, dont le diamètre ω est $> y'$ D'autre part, le faisceau qui tomberait directement sur l'œil nu aurait pour intensité ω^2 (ω étant le diamètre de la pupille). Donc on a $C = \frac{y^2}{\omega^2}$ (C est beaucoup plus grand que 1).

Par conséquent l'*éclat*, dans ce cas, est considérablement augmenté par la vision à travers la lunette. C'est pour cela qu'on voit avec les télescopes des étoiles qui seraient complètement invisibles à l'œil nu.

516. **Applications scientifiques des lunettes terrestres : Réglage du cathétomètre.** — Les lunettes terrestres (ou simplement

lunettes) entrent, comme organe essentiel, dans un grand nombre d'appareils ou instruments de physique. Nous en avons vu un exemple dans le cathétomètre. Nous allons en expliquer l'emploi, en décrivant l'opération du réglage du cathétomètre.

Réglage du cathétomètre. — Ce réglage comprend deux opérations successives :

1° La *vérification* de la *lunette* et de son *niveau;* 2° le *réglage du support de la lunette* et de *l'axe de rotation.*

I. *Vérification de la lunette et de son niveau.* — Cette opération préliminaire s'effectue une fois pour toutes; on n'est pas obligé de la recommencer chaque fois qu'on déplace l'instrument.

Nous avons vu que l'*axe optique* d'une lunette, c'est la droite qui est déterminée par le centre optique de l'objectif et par le point de croisement des fils du réticule. D'après la théorie des lentilles, c'est sur le prolongement de cette droite qu'est situé tout point lumineux dont l'image vient se former au point de croisement du réticule : c'est donc l'axe optique qui définit la direction suivant laquelle *on vise* à l'aide d'une lunette. — Quant à l'axe *géométrique* de la lunette du cathétomètre, il est défini par les deux centres des deux colliers égaux sur lesquels repose l'instrument (fig. 585).

1° *Vérification de la lunette.* — Elle consiste à vérifier si l'*axe optique* coïncide avec l'*axe géométrique* de la lunette. — Pour constater si cette condition est remplie, il n'y a qu'à viser un point quelconque extérieur M, dont on amène l'image M' (fig. *d*) sur la croisée des fils. Supposons que ce point I ne

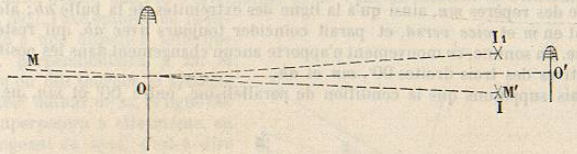

Fig. 589.

soit pas sur la ligne des centres OO' de l'oculaire et de l'objectif, laquelle coïncide, dans une lunette bien centrée, avec son axe géométrique. Dans ce cas, l'axe optique IO ne coïncidera pas avec l'axe géométrique, et si l'on fait tourner l'instrument sur lui-même, c'est-à-dire autour de la ligne OO', l'axe optique OI se déplacera en traçant une surface conique. Quant à l'image M', elle restera en place sur la ligne OM, qui est son axe secondaire, mais elle ne coïncidera plus avec le point de croisement des fils, lequel a été amené en I_1. Lorsqu'on a constaté ce déplacement, on fait mouvoir le réticule I, au moyen d'une vis disposée à cet effet dans un plan perpendiculaire à l'axe OO', jusqu'à ce qu'on l'ait ramené sur cette ligne. On s'aperçoit qu'il en est ainsi lorsque, en faisant tourner la lunette sur son axe, l'image M' ne quitte plus le point I.

Vérification du niveau. — Elle consiste à vérifier si *la ligne des repères du niveau mn* (fig. 123) *est parallèle à l'axe géométrique* (et, par suite, à l'axe optique) de la lunette.

Pour constater si cette condition est réalisée, on commence par agir sur la vis *p* qui fait mouvoir la fourchette autour de l'axe *i*, jusqu'à ce que la bulle du niveau vienne se placer entre ses repères. A ce moment, la ligne des repères est horizontale, puisqu'elle coïncide avec la ligne des extrémités de la bulle d'air. Si donc l'axe géométrique de la lunette était parallèle à la ligne des repères,

il serait actuellement *horizontal*. Or il est facile de s'en assurer, *en retournant* la lunette *bout pour bout*.

En effet, dans ce mouvement, le système tout entier tourne autour d'un axe zz perpendiculaire à l'axe géométrique OO' de la lunette (fig. 590), et, par suite, l'extrémité O vient en O' et *vice versâ*. Or, si OO' était horizontal, l'axe

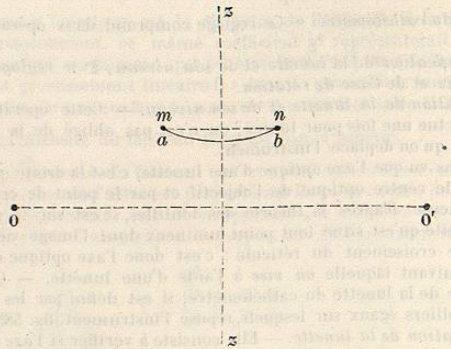

Fig. 590.

de rotation zz est une ligne verticale, qui est également perpendiculaire à la ligne des repères mn, ainsi qu'à la ligne des extrémités de la bulle ab; alors n vient en m et *vice versâ*, et parait coïncider toujours avec ab, qui reste en place. En somme, ce mouvement n'apporte aucun changement dans les positions relatives des trois droites OO', mn et ab.

Mais supposons que la condition de parallélisme, entre OO' et mn, ne fût

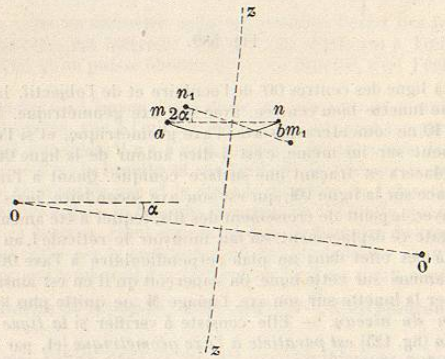

Fig. 591.

pas remplie. Quand on amène, en agissant sur la vis p, la bulle entre ses repères, la ligne mn était encore horizontale, puisqu'elle coïncidait avec la ligne ab; mais c'est OO' qui ne l'était plus. Elle faisait un angle α, plus ou moins

grand, avec l'horizontale du point O (fig. 591). Si l'on opère le retournement du système bout pour bout, l'axe de rotation zz, qui est perpendiculaire à OO', ne l'est plus à mn. Il va donc arriver ceci, c'est que, pendant que la ligne OO' se superposera à elle-même, par le retournement, O venant O' et *vice versâ*, d'une part la ligne des repères mn prendra une nouvelle position m_1n_1, symétrique de mn par rapport à l'axe zz, et d'autre part la bulle d'air gardera sa position initiale ab ou mn, faisant avec m_1n_1 un angle égal à 2α. Cet angle sera précisément indiqué par le déplacement apparent de la bulle, dans le niveau, par rapport à la ligne des repères.

On agira alors sur la ligne des repères de manière à faire varier son inclinaison de la moitié environ de l'angle dont la bulle s'est déplacée. Cette opération se fera aisément si le niveau est muni d'une vis analogue à celle que porte l'instrument représenté dans la figure 200. Puis on recommencera l'essai précédent, par le retournement bout pour bout, jusqu'à ce qu'on réduise à zéro le déplacement de la bulle par rapport à mn. A ce moment, on pourra considérer la ligne des repères du niveau comme exactement parallèle à l'axe géométrique (et par suite à l'axe optique) de la lunette.

II. La lunette et son niveau étant réglés, il ne reste plus qu'à disposer le cathétomètre sur un support parfaitement fixe, dans le lieu où l'on veut s'en servir, et puis à régler l'instrument lui-même, de manière que l'axe optique de la lunette se déplace toujours dans un plan horizontal, quelle que soit sa position sur l'axe de l'instrument. Cette opération se compose de deux parties.

1° Il faut rendre *l'axe optique de la lunette perpendiculaire à l'axe de rotation du support.*

Supposons cette condition remplie : on s'en assurera aisément de la manière suivante. Quelle que soit l'orientation zz de l'axe de rotation de l'instrument (fig. 592), l'axe optique de la lunette a une direction telle que OO', perpendiculaire à zz. Si donc on fait tourner le système de 180° autour de zz, la ligne OO' se superposera à elle-même, en changeant de sens, c'est-à-dire que O' viendra en O et *vice versâ*, et si l'on retourne la lunette elle-même, bout pour bout, dans cette nouvelle position, on aura annulé les effets de la rotation précédente, et le système se retrouvera dans la situation initiale par rapport à l'observateur : on s'en apercevra aisément à la bulle du niveau, qui aura repris sa position initiale par rapport à la ligne des repères.

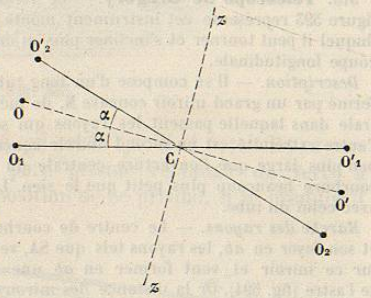

Fig 592.

Supposons au contraire, que la condition ne soit par remplié, et que l'axe optique de la lunette soit orienté suivant OO'_1, faisant un angle α avec l'orientation normale OO'. Que se passera-t-il par la double opération de la rotation sur l'axe zz et du retournement de la lunette bout pour bout? Evidemment l'axe optique de la lunette viendra se placer en O'_2O_2, symétriquement avec OO'_1, par rapport à zz_1 (O_1 en O_2 et O'_1 en O'_2), et l'angle $O_1CO'_2$ des deux positions successives de cet axe sera précisément égal à 2α. Et si l'on retourne la lunette bout pour bout, on ne fera que replacer la ligne des repères du même côté par rapport à l'axe, de façon que le déplacement de la bulle par rapport à la ligne des repères donnera directement la mesure de l'angle 2α.

On corrigera le défaut de parallélisme en agissant sur la vis p (fig. 125), de manière à diminuer de moitié environ le déplacement de la bulle par rapport à la ligne des repères. Puis on constatera si cette correction est suffisante, en vérifiant si la perpendicularité est réalisée. Sinon, on agira de nouveau sur la vis p, et ainsi de suite.

2° *Rendre l'axe du support vertical.* — Il ne reste plus qu'à rendre vertical l'axe de l'instrument. Cette opération est à peu près la même que celle qui consiste à rendre un plan horizontal, à l'aide du niveau à bulle d'air (185). En effet, il suffit d'agir sur les vis calantes du pied de l'appareil jusqu'à ce que la bulle du niveau vienne se mettre entre ses repères, pour deux positions, à peu près rectangulaires, de la lunette. Car alors l'axe du cathétomètre, étant perpendiculaire à deux horizontales, est une *ligne verticale*.

517. **Télescopes** — Les *télescopes* sont des instruments qui servent à voir les objets éloignés, et particulièrement les astres. La lunette astronomique et la lunette de Galilée sont donc des télescopes. Elles ont, en effet, d'abord porté ce nom, et se désignaient sous celui de *télescopes par réfraction* ou *télescopes dioptriques;* mais aujourd'hui on entend par télescopes des appareils dans lesquels la réflexion est utilisée, en même temps que la réfraction, au moyen de miroirs et de lentilles, pour montrer les objets éloignés. On a construit plusieurs sortes de télescope : les plus connus sont ceux de Gregory, de Newton et d'Herschel.

518. **Télescope de Grégory.** — Ce télescope fut inventé vers 1630. La figure 593 représente cet instrument monté sur un pied à charnière autour duquel il peut tourner et s'incliner plus ou moins : la figure 594 en donne une coupe longitudinale.

Description. — Il se compose d'un long tube de cuivre; l'un des bouts est fermé par un grand miroir concave M, de métal, percé d'une ouverture centrale dans laquelle passent les rayons qui se rendent à l'oculaire. Près de l'autre extrémité est un second miroir concave N, également métallique, un peu plus large que l'ouverture centrale du grand miroir, et d'un rayon de courbure beaucoup plus petit que le sien. Les axes des miroirs coïncident avec celui du tube.

Marche des rayons. — Le centre de courbure du grand miroir étant en O et son foyer en ab, les rayons tels que SA, venant de l'astre, se réfléchissent sur ce miroir et vont former en ab une image renversée et très petite de l'astre (fig. 594). Or la distance des miroirs et leurs courbures respectives sont telles, que cette image se trouve entre le centre o et le foyer f du petit miroir; d'où les rayons, après s'être réfléchis une seconde fois sur le miroir N, vont former en $a'b'$ une image amplifiée de ab; elle est renversée par rapport à ab et, par conséquent, droite par rapport à l'astre. Enfin, on regarde cette image avec un oculaire P, à un ou à deux verres, qui en donne, en $a''b''$, une image virtuelle et amplifiée.

Mise au point. — La mise au point s'effectue en modifiant la distance des deux miroirs. Pour cela, en agissant sur un bouton A (fig. 593), on fait tourner une tringle qui, à l'aide d'un pas de vis, transmet le mouvement à une pièce B à laquelle est fixé le petit miroir.

519. **Télescope de Newton.** — L'objectif de Newton, comme celui de Gregory, était un miroir métallique.

1° *Description schématique et marche des rayons.* — La figure 596 représente un télescope de Newton monté sur pied parallactique, et la figure 595 en montre une coupe longitudinale. En M

Fig. 593.

est le miroir de verre argenté qui est l'objectif et reçoit les rayons de l'astre, et en m est un petit prisme rectangle de verre à réflexion totale. Sans l'interposition de ce prisme, il se produirait

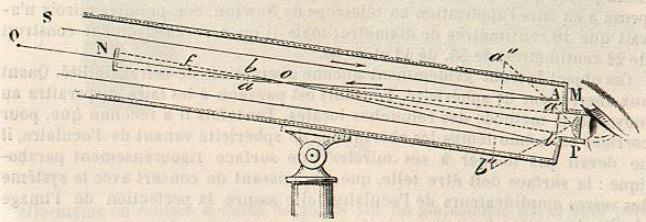

Fig. 594.

en ab, au foyer principal du miroir, une image réelle, renversée et très petite de l'astre. Mais les rayons sont interceptés par le prisme et réfléchis totalement sur l'hypoténuse, de sorte que

l'image est rejetée en $a'b'$, dans une position symétrique de ab par rapport au plan m prolongé. On la regarde avec un oculaire très grossissant o, qui donne enfin l'image $a''b''$, virtuelle et très amplifiée.

2° *Grossissement.* — Le grossissement linéaire se définit dans les

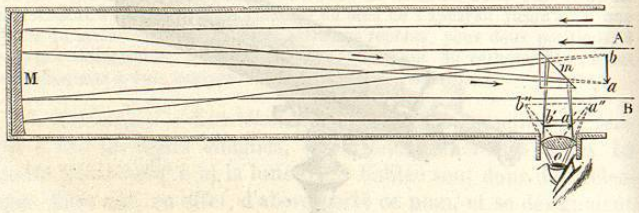

Fig. 595.

télescopes comme dans les lunettes. Il est mesuré par le rapport des diamètres apparents de l'image et de l'objet. La formule de définition est donc $G = \frac{\text{angle } ab}{\text{angle } a''ob''}$.

En substituant à ces angles leurs tangentes trigonométriques, et, en faisant les réductions ordinaires, on retrouve la formule générale $G = \frac{F}{f}$, F étant la distance focale principale du système objectif, et f celle du système oculaire.

3° *Objectif de Foucault.* — Dans cet instrument, c'est le miroir qui fait l'office d'objectif. Les difficultés de construction que présentent les miroirs de métal avaient fait abandonner les télescopes de Gregory et de Newton. Foucault, étant parvenu à argenter des miroirs de verre et à leur donner un poli assez parfait pour qu'ils pussent réfléchir 75 pour 100 de la lumière incidente, pensa à en faire l'application au télescope de Newton. Son premier miroir n'avait que 10 centimètres de diamètre; mais il en a successivement construit de 22 centimètres, de 33, de 42 et de 80.

Ces objectifs n'ont évidemment aucune aberration de réfrangibilité. Quant aux aberrations de sphéricité, Foucault est parvenu à les faire disparaître au moyen de la méthode des retouches locales. Toutefois il a reconnu que, pour corriger en même temps les aberrations de sphéricité venant de l'oculaire, il ne devait pas donner à ses miroirs une surface rigoureusement parabolique : la surface doit être telle, que, en agissant de concert avec le système des verres amplificateurs de l'oculaire, elle assure la perfection de l'image résultante.

Les nouveaux télescopes à miroir parabolique de verre argenté ont, sur les anciens télescopes à miroir sphérique de métal, le triple avantage de donner des images plus nettes et d'être moins lourds et moins longs : leur distance focale n'est que de six fois le diamètre du miroir.

4° *Oculaire.* — Pour simplifier la construction, nous avons supposé l'oculaire à un seul verre ; mais celui de Foucault est un oculaire *à quatre verres*

placé sur le côté du télescope, et qui, suivant son pouvoir grossissant et la dimension du miroir argenté, peut donner un grossissement de 50 à 800.

5° *Description complète.* — Le corps du télescope est de bois; il a la forme d'un gros tube octogonal (fig. 596). L'extrémité G est ouverte; à l'autre extrémité est le miroir. A partir de ce fond, au tiers environ de la longueur, sont fixés deux tourillons reposant sur des coussinets portés par deux montants de bois A et B. Ceux-ci sont eux-mêmes fixés à une table PQ qui peut tourner sur

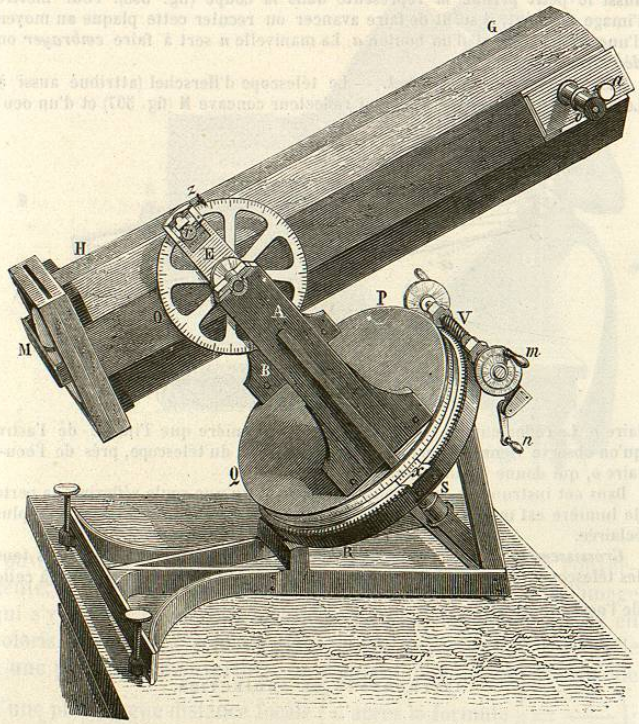

Fig. 596.

elle-même en roulant à l'aide de galets sur un plateau fixe RS, orienté parallèlement à l'équateur. Sur le pourtour de la table est un cercle de cuivre divisé en 360°, et au-dessous est un engrenage circulaire dans lequel engrène une vis sans fin V. En faisant marcher celle-ci dans un sens ou dans l'autre à l'aide d'une manivelle m, on fait tourner la table PQ, et avec elle tout le télescope. Un vernier x, adapté sur le plateau fixe RS, donne les fractions de degré. Enfin, sur l'axe des tourillons est monté un cercle gradué O, correspondant au cercle horaire de l'astre qu'on observe : il sert à mesurer la *décli-*

naison de l'astre, c'est-à-dire sa distance angulaire à l'équateur, tandis que les degrés tracés autour de la table PQ servent à mesurer l'*ascension droite*, c'est-à-dire l'angle que fait le cercle horaire de l'astre avec un cercle horaire choisi comme *origine*.

6° *Manipulation et mise au point.* — Pour fixer le télescope en déclinaison, une pièce de cuivre E, liée au montant A, porte une pince dans laquelle glisse le limbe O, et qui se serre par un bouton à vis *r*. Enfin, sur le côté de l'appareil est l'oculaire *o*, monté sur une plaque de cuivre à coulisse, qui porte aussi le petit prisme *m* représenté dans la coupe (fig. 595). Pour mettre l'image au point, il suffit de faire avancer ou reculer cette plaque au moyen d'une crémaillère et d'un bouton *a*. La manivelle *n* sert à faire *embrayer* ou *désembrayer* la vis V.

520. **Télescope d'Herschel.** — Le télescope d'Herschel (attribué aussi à Lemaire) n'est formé que d'un seul réflecteur concave M (fig. 597) et d'un ocu-

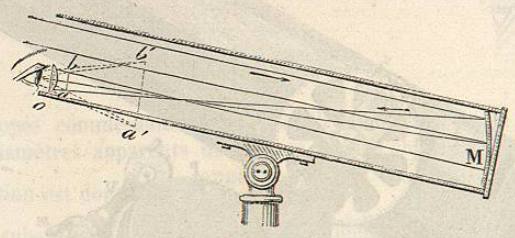

Fig. 597.

laire *o*. Le réflecteur est incliné sur l'axe de manière que l'image de l'astre qu'on observe vienne se former en *ab* sur le côté du télescope, près de l'oculaire *o*, qui donne ensuite l'image amplifiée *a'b'*.

Dans cet instrument, les rayons n'éprouvant qu'une seule réflexion, la perte de lumière est moindre que dans les deux précédents, et l'image est plus éclairée.

Grossissement. — Quant au grossissement, il est mesuré, comme dans tous les télescopes, par le rapport de la distance focale principale du miroir à celle de l'oculaire : $G = \frac{F}{f}$.

INSTRUMENTS DE PROJECTION.

On appelle ainsi des instruments d'optique *simples*, réduits à un système objectif, et destinés à donner des images *réelles et amplifiées* des objets lumineux.

521. **Chambre obscure.** — La *chambre obscure* est une sorte de boîte fermée de toutes parts, sauf en un point qui est muni d'une petite ouverture par où peuvent entrer les rayons lumineux (fig. 598). Alors tous les objets extérieurs qui peuvent envoyer des rayons dans la chambre obscure, par la petite ouverture, vont se peindre sur le mur opposé, avec des dimensions réduites et

avec leurs couleurs naturelles; mais les images sont renversées. Cet appareil primitif est donc une application directe des images formées par les petites ouvertures.

C'est Porta, physicien napolitain, qui fit connaître ce phénomène, en 1570. Peu de temps après, il observa que si, dans

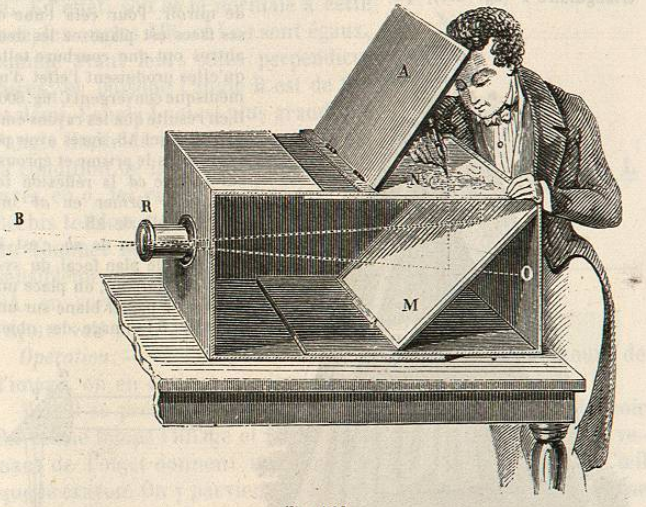

Fig. 598.

l'ouverture de la chambre obscure, on fixe une lentille convergente, et qu'on place au foyer de celle-ci un écran blanc, l'image qui s'y produit gagne considérablement en éclat, en netteté et en coloris. Ces images sont d'autant mieux éclairées que la lentille a une plus grande ouverture, et d'autant plus amplifiées qu'elle a une plus longue distance focale $\left(\text{d'après la formule } \frac{I}{O} = \frac{f}{p-f}\right)$.

Applications de la chambre obscure. — On utilise la chambre obscure dans l'art du dessin. On lui a donné diverses formes, de manière à la rendre portative et à redresser les images.

1° *Chambre obscure à tirage.* — Elle consiste en une boîte rectangulaire (fig. 598) dans laquelle les rayons lumineux B pénètrent au travers d'une lentille R, et tendent à aller former une image *réelle* et *verticale* sur la paroi opposée O, qui doit être pour cela à une distance de l'ouverture sensiblement égale à la distance focale de la lentille. Mais les rayons, rencontrant un miroir de verre M incliné de 45°, changent de direction, et viennent projeter une image *réelle* et *horizontale* sur un écran de verre dépoli N. En plaçant sur cet