écran une feuille de papier à calque, on peut exactement suivre, au crayon, les contours de l'image. Une planchette de bois A sert à intercepter la lumière diffuse qui nuirait à la netteté de l'image.

La boite est formée de deux parties qui peuvent glisser à coulisse l'une dans l'autre : grâce à ce tirage, on peut toujours obtenir une image nette sur l'écran N, quelle que soit la distance de l'objet.

2° *Chambre obscure à prisme.* — Dans un étui de cuivre A est un prisme triangulaire P (fig. 599), qui tient lieu à la fois de lentille convergente et de miroir. Pour cela l'une de ses faces est plane et les deux autres ont une courbure telle, qu'elles produisent l'effet d'un ménisque convergent C (fig. 600). Il en résulte que les rayons émis par un objet AB, après avoir pénétré dans le prisme et éprouvé sur la face *cd* la réflexion totale, vont former en *ab* une image réelle de AB.

Dans le plan de *ab*, c'est-à-dire dans le plan focal du système convergent, on place une feuille de papier blanc sur une tablette B : l'image des objets

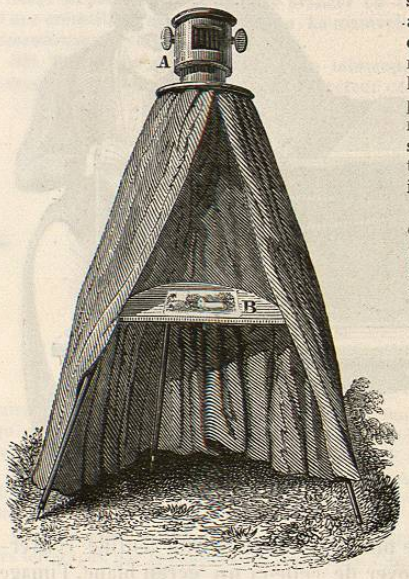


Fig. 599.

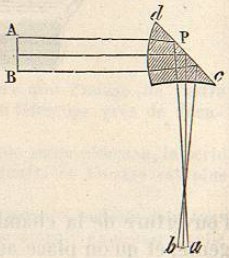


Fig. 600.

extérieurs vient s'y former ; elle est d'autant plus nette que tout l'appareil est enveloppé d'un rideau noir, au-dessous duquel le dessinateur opère dans l'obscurité. La tablette s'enlève à volonté et les pieds se plient à l'aide de charnières, ce qui rend cet appareil tout à fait portatif. Il a été construit par Ch. Chevalier.

522. **Chambre claire.** — La *chambre claire* ou *camera lucida* (due à Wollaston) est un instrument d'optique *simple*, dont on se sert pour obtenir une image fidèle d'un paysage, d'un monument ou de tout autre objet.

*Description.* — Elle consiste en un petit prisme quadrangulaire de verre, dont la figure 601 représente une section principale. L'angle A est droit, l'angle C est de 135° et chacun des angles B et



D de 67° et demi. Ce prisme est porté sur un pied à tirage qui permet de le hausser ou de l'abaisser à volonté ; de plus, il peut se tourner plus ou moins autour d'un axe parallèle à ses arêtes.

*Marche des rayons.* — La face AB étant tournée vers l'objet dont on cherche l'image, les rayons partis de cet objet tombent à peu près perpendiculairement sur cette face, y pénètrent sans réfraction sensible et viennent éprouver la réflexion totale sur la face BC. En effet, soit *ab* la normale à cette face, les angles ABC et L*na* sont égaux, comme ayant leurs côtés perpendiculaires ; et puisque l'angle B est de 67° et demi, l'angle L*na* est plus grand que l'angle limite du verre (442), ce qui est la condition de la réflexion totale. Arrivés en *o*, les rayons sont encore réfléchis totalement et sortent très près du sommet D, suivant une direction sensiblement perpendiculaire à la face DA, en sorte que l'œil qui recoit ces rayons voit en L′ l'image de l'objet L.

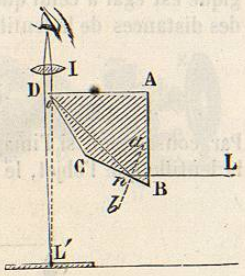


Fig. 601.

*Opération.* — Si l'on suit alors avec un crayon les contours de l'image, on en obtient un dessin très correct.

Mais il se présente ici une difficulté assez grande, c'est de voir en même temps l'image et la pointe du crayon, car les rayons venant de l'objet donnent une image qui est plus éloignée de l'œil que le crayon. On y parvient en interposant entre l'œil et le prisme une lentille I, qui donne la même convergence aux deux faisceaux de rayons ; mais encore faut-il placer l'œil très près du bord du prisme et de manière que l'ouverture pupillaire se trouve partagée en deux parties, dont l'une voit l'image L′ et l'autre le crayon.

Remarque. — Nous avons vu précédemment une forme plus simple de la chambre claire, qui sert à mesurer le grossissement des instruments d'optique composés.

523. **Lanterne magique.** — La *lanterne magique* est un instrument d'optique simple qui sert à obtenir sur un écran, dans une chambre obscure, des images amplifiées de petits objets. Elle a été inventée par le P. Kircher.

*Description et marche des rayons.* — Elle consiste en une boîte de fer-blanc dans laquelle est une lampe placée au foyer d'un réflecteur concave A (fig. 602 et 603). Les rayons réfléchis par celui-ci sont reçus sur une lentille convergente B, qui les concentre vers des figures diverses peintes sur une lame de verre V. Ces figures, ainsi éclairées fortement, sont placées devant une seconde

lentille convergente C, à une distance un peu plus grande que sa distance focale principale. Cette lentille en donne une image réelle, renversée et très amplifiée, qui se projette sur un écran convenablement éloigné (fig. 602). Pour obtenir des images droites, on place le verre peint dans la lanterne, de manière que les dessins qu'il porte soient renversés.

*Grossissement.* — Le grossissement fourni par la lanterne magique est égal à celui que donnent les lentilles. C'est le rapport des distances de la lentille C à l'écran et à l'objet. On a

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p} = \frac{f}{p-f}.$$

Par conséquent, si l'image est 10 fois, 100 fois plus éloignée de la lentille que l'objet, le grossissement est égal à 10 ou à 100. On

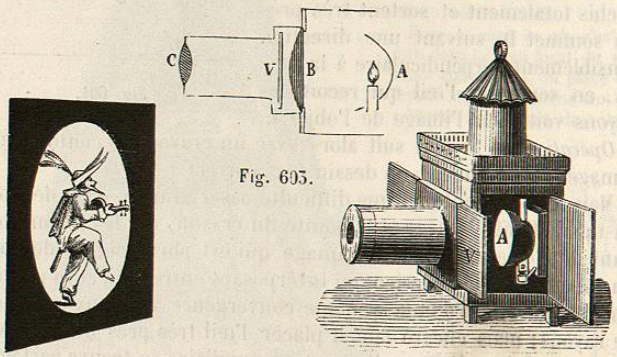


Fig. 603.

Fig. 602.

conçoit dès lors qu'avec une lentille à court foyer on pourra, si l'écran est suffisamment éloigné, obtenir des images très amplifiées.

524. **Microscope solaire.** — Le *microscope solaire* est une sorte de lanterne magique, éclairée par les rayons solaires : elle sert à obtenir des images très amplifiées d'objets extrêmement petits. Cet appareil fonctionne dans une *chambre noire* (c'est-à-dire dans une salle où le jour ne pénètre pas); la figure 604 le représente fixé au volet de la chambre, et la figure 605 en montre les détails intérieurs.

*Description.* — Un miroir plan M, placé hors de la chambre noire, reçoit les rayons solaires et les réfléchit vers une lentille



convergente *l*, celle-ci les concentre sur une deuxième lentille *o* (fig. 605), nommée *focus*, qui les fait converger en son foyer. En ce point est l'objet dont on veut avoir l'image; il est placé entre

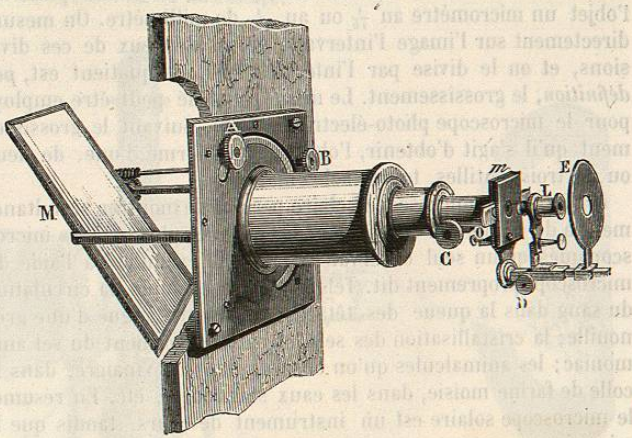


Fig. 604.

deux lames de verre, serrées elles-mêmes entre deux lames métalliques *m*, par un ressort à boudin placé en *n*. L'objet étant alors fortement éclairé est placé tout près du foyer d'un système conver-

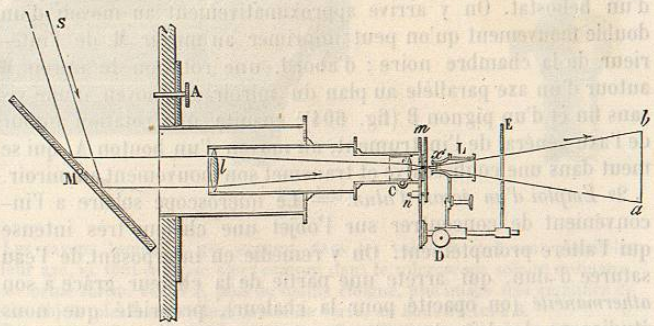


Fig. 605

gent, composé de trois lentilles *x*; celles-ci en donnent une image *ab*, renversée et très amplifiée, sur un mur ou sur un écran blanc convenablement éloigné. Des vis à bouton C et D servent à régler les

distances des lentilles $o$ et $x$ à l'objet, de manière que celui-ci soit exactement au foyer de la première, et que l'image donnée par les lentilles $x$ se projette exactement sur l'écran.

*Grossissement.* — On le détermine en mettant à la place de l'objet un micromètre au $\frac{1}{10}$ ou au $\frac{1}{100}$ de millimètre. On mesure directement sur l'image l'intervalle grossi de deux de ces divisions, et on le divise par l'intervalle réel : le quotient est, *par définition*, le grossissement. Le même procédé peut être employé pour le microscope photo-électrique (525). Suivant le grossissement qu'il s'agit d'obtenir, l'objectif $x$ est formé d'une, de deux ou de trois lentilles, toutes achromatiques.

*Usages.* — Le microscope solaire permet de montrer simultanément à de nombreux spectateurs les mêmes phénomènes microscopiques qu'un seul observateur pourrait examiner à l'aide du microscope proprement dit. Tels sont, par exemple, la circulation du sang dans la queue des têtards ou dans la langue d'une grenouille; la cristallisation des sels, et particulièrement du sel ammoniac; les animalcules qu'on observe dans le vinaigre, dans la colle de farine moisie, dans les eaux stagnantes, etc. En résumé, le microscope solaire est un instrument de cours, tandis que le microscope composé est un instrument de laboratoire.

Remarques. — 1° *Emploi de l'héliostat.* — La direction de la lumière solaire variant constamment, il faut changer continuellement la position du réflecteur extérieur, afin que les rayons réfléchis soient constamment dirigés suivant l'axe du microscope. Ce résultat ne pourrait être rigoureusement obtenu qu'à l'aide d'un héliostat. On y arrive approximativement au moyen d'un double mouvement qu'on peut imprimer au miroir M, de l'intérieur de la chambre noire : d'abord, une rotation du miroir M autour d'un axe parallèle au plan du miroir au moyen d'une vis sans fin et d'un pignon B (fig. 604); ensuite, une rotation autour de l'axe général de l'instrument, au moyen d'un bouton A, qui se meut dans une coulisse fixe et transmet son mouvement au miroir.

2° *Emploi d'un écran d'alun.* — Le microscope solaire a l'inconvénient de concentrer sur l'objet une chaleur très intense qui l'altère promptement. On y remédie en interposant de l'eau saturée d'alun, qui arrête une partie de la chaleur grâce à son *athermanéité* (ou opacité pour la chaleur), propriété que nous étudierons plus loin.

525. **Microscope photo-électrique.** — Le *microscope photo-électrique* n'est autre chose qu'un microscope solaire éclairé à la lumière électrique. Cette lumière, à cause de son intensité, de la fixité qu'on parvient à lui donner et de sa facile production, est souvent d'un emploi plus commode que la lumière solaire.



La figure 606 représente la disposition que M. Duboscq a donnée à cet appareil. Une boîte rectangulaire de cuivre jaune porte extérieurement un microscope solaire ABD, identique à celui qui a été décrit ci-dessus. Dans l'intérieur de la boîte, on place un régulateur à arc voltaïque, dont le foyer lumineux est sur l'axe des lentilles du microscope.

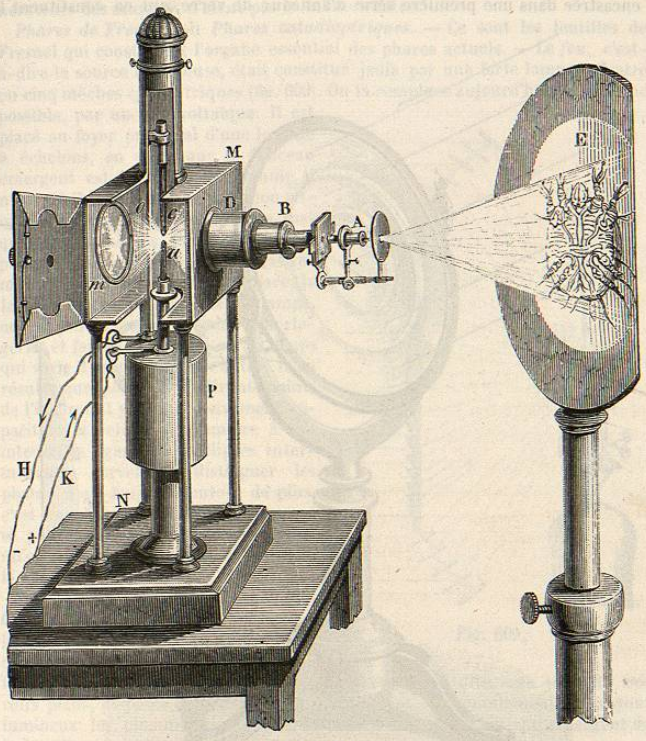


Fig. 606.

Les rayons lumineux qui entrent dans les tubes D et B sont parallèles à leur axe, et tout se passe alors comme dans le microscope solaire ordinaire. Il se forme sur un écran E, plus ou moins éloigné, une image très amplifiée de petits objets placés entre deux lames de verre, au bout du tube B.

Remarque. — Dans le dessin ci-contre (fig. 606) l'objet figuré sur l'écran est l'*acarus de la gale*.

526. **Lentilles à échelons. — Phares.** — On nomme *phares* des feux qu'on allume sur les côtes, la nuit, pour servir de guides aux navigateurs. Autrefois, pour porter la lumière des *phares* à de grandes distances, on faisait usage de réflecteurs paraboliques. On emploie aujourd'hui des *lentilles à échelons* ou *lentilles de Fresnel*.

Les *lentilles à échelons* ont été construites pour obvier aux inconvénients des lentilles de grande ouverture. Celles-ci, en effet, outre les difficultés et la cherté de leur construction, sont sujettes, comme on sait, à une forte *aberration de sphéricité*, et absorbent beaucoup de lumière par suite de leur épaisseur. Les *lentilles à échelons*, imaginées par Buffon, ont été perfectionnées par Fresnel. Elles sont formées, d'une lentille plan-convexe C (fig. 607, 608 et 609), encastrée dans une première série d'anneaux de verre, qui en constituent la

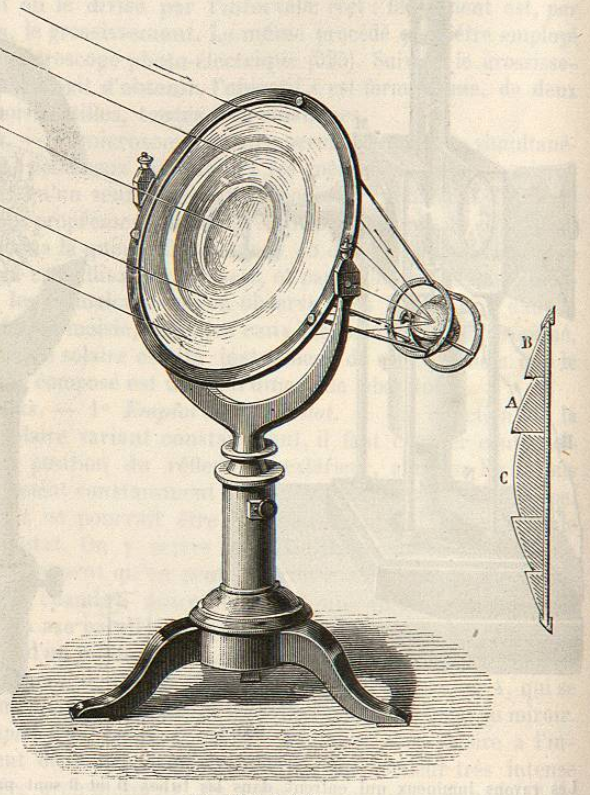


Fig. 607 et 608.

partie centrale, et entourée d'une suite d'anneaux de verre A, B..., également plan-convexes, qui en constituent la périphérie. Chacun de ces anneaux a sa face plane située du même côté que la face plane de la lentille centrale, tandis que leurs faces opposées ont une courbure telle, que leurs divers foyers viennent se former au foyer de la lentille. L'ensemble de ces anneaux forme donc, avec la lentille C, une sorte de lentille composée, représentée en coupe dans les figures 608 et 609. (Le dessin a été pris d'après une lentille de 60 centimètres de diamètre environ, dont les anneaux sont formés d'une seule pièce



de verre ; mais dans les lentilles plus grandes chaque anneau est lui-même formé de plusieurs segments.)

Remarque. — D'après Buffon, les anneaux sphériques de la périphérie devaient être *concentriques* à la portion centrale; mais Fresnel a prouvé que ce n'est pas là le véritable moyen de corriger l'aberration de sphéricité. Le calcul apprend que le système n'est aplanétique qu'à la condition que les arcs générateurs des anneaux n'aient pas le même centre [1].

*Phares de Fresnel* ou *Phares catadioptriques*. — Ce sont les lentilles de Fresnel qui constituent l'organe essentiel des phares actuels. — Le *feu*, c'est-à-dire la source lumineuse, était constitué jadis par une forte lampe à quatre ou cinq mèches concentriques (fig. 609). On la remplace aujourd'hui, autant que possible, par un arc voltaïque. Il est placé au foyer principal d'une lentille à échelons, en sorte que le faisceau émergent est parallèle, et comme il n'est affaibli que par l'absorption atmosphérique, il peut être visible jusqu'à 60 kilomètres. Pour que tous les points de l'horizon soient successivement éclairés par un même phare, la lentille se meut autour de la lampe, au moyen d'un mécanisme d'horlogerie, et fait sa révolution en un temps qui varie d'un phare à un autre, Il en résulte que pour les différents points de l'horizon il y a successivement apparition et éclipse de lumière à des intervalles égaux. Ces éclipses intermittentes servent à distinguer les phares d'un feu accidentel; de plus, c'est d'après le nombre des éclipses qui se produisent dans un temps donné qu'on reconnait un phare, et par suite la côte qui est en vue.

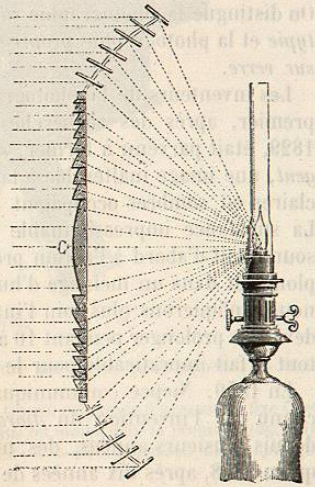


Fig. 609.

Le phare représenté en coupe (fig. 609) est dit *catadioptrique*, parce que la réflexion est utilisée en même temps que la réfraction, pour en augmenter la puissance. On voit, autour de la lentille proprement dite, une série de miroirs plans, disposés en éventail, qui réfléchissent horizontalement les rayons lumineux les plus divergents et en renforcent les faisceaux qui émergent de la lentille.

Remarque. — On peut se servir de la lentille à échelons pour un usage inverse, c'est-à-dire pour concentrer sur un objet la lumière et la chaleur solaire. On monte alors l'instrument sur un support particulier (fig. 607). Derrière la lentille, fixé par trois tringles, est un support sur lequel se posent les corps qu'on veut soumettre à l'action des rayons solaires qui tombent sur la lentille. Ce support étant au foyer principal du système, les substances qu'on y place sont soumises à une très haute température.

1. Les diférents centres ne doivent même pas être situés sur l'axe de la lentille. Ils s'en éloignent d'autant plus que les arcs auxquels ils appartiennent sont eux-mêmes plus éloignés du centre de la lentille. Il en résulte que ces arcs générateurs, en tournant autour de l'axe, n'engendrent pas des portions de *surfaces sphériques concentriques*, mais des portions de surfaces dites *annulaires*.