

ou est un meilleur conducteur du son que l'air. On peut aussi placer la montre à un bout d'une table et appliquer l'oreille à l'autre bout.

- 122. Attachez un corps solide assez lourd à un fil, prenez en bouche l'extrémité libre du fil, et traitez le poids sur le plancher en tendant bien le fil.

On entend très nettement le frottement. Le son se propage, par le fil tendu, jusqu'aux dents; d'où les vibrations aboutissent par divers intermédiaires à l'organe de l'ouïe.

- 123. Recommencez l'Exercice 114 avec cette différence qu'au lieu de tenir en main l'un des bouts du fil on l'attache à une règle qu'on applique contre l'oreille.

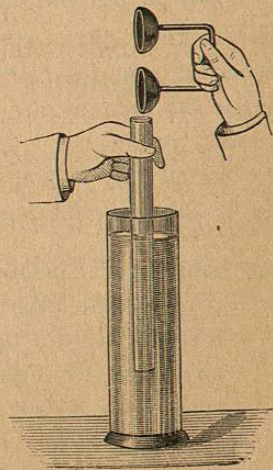
Le fil tendu propage bien les vibrations, il les communique à la règle qui les conduit à l'oreille presque sans intermédiaire. L'expérience montre que les moindres changements dans la tension du fil vibrant se font aussitôt sentir à l'oreille. — On peut faire la même observation en appliquant l'oreille contre un poteau télégraphique.

- 124. Appliquez une montre contre un cahier de papier ou une planchette, tenez le tout librement en l'air, et observez comment le tic tac s'entend distinctement à assez grande distance.

Les vibrations de la montre se communiquent au papier; l'air est ainsi mis en mouvement par une plus grande surface et se met à vibrer vivement.

- 125. Remplissez complètement d'eau la grande éprouvette à pied, enfoncez-y le tube large ou une cheminée de lampe et présentez une cloche en vibration à l'ouverture du tube en enfonceant ce dernier plus ou moins profondément. (V. la fig.)

En enfonceant le tube, on y diminue le volume de l'air. On arrive à une position déterminée pour laquelle on observe un renforcement du son de la cloche; la colonne d'air contenue dans le tube vibre alors en même temps.



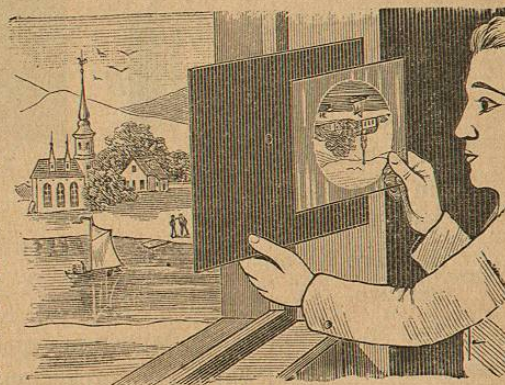
125.

On peut encore observer autrement le même phénomène. En enfonceant le tube dans l'eau, sifflez uniformément un même son devant l'ouverture. Bientôt viendra une position où le tube vibre avec le son émis, ou, comme on dit, parle à l'unisson. Cette position se reconnaît aisément, ne fût-ce que par facilité avec laquelle on peut alors siffler cette note. Si l'on peut alors faire parler le tube en soufflant avec la bouche, d'après l'Exercice 117, on remarquera que le son ainsi produit et la note sifflée sont exactement de même hauteur. (La construction des tuyaux d'orgue est une application de cette expérience.)

Le phénomène de la résonance d'une colonne d'air s'observe encore mieux en employant un diapason. On le tient au-dessus de l'ouverture du tube comme la cloche dans la figure. On trouvera aisément la position voulue.

Optique.

- 126. Percez une petite ouverture au milieu d'une feuille de papier noir, tenez cette feuille devant la fenêtre, recevez sur un écran transparent les rayons émis par les objets situés devant la fenê-



126.

tre après leur passage à travers l'ouverture, et comparez avec ces objets la position, la grandeur et la clarté de l'image produite sur l'écran. (V. la fig.)

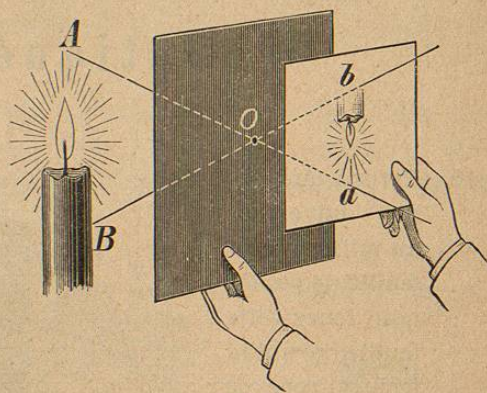
On percera le trou avec une épingle. On tiendra la feuille de papier, le côté noir tourné vers l'écran. Pour celui-ci, on prendra du papier de soie ou mieux du papier huilé ou papier à calquer. L'image sur l'écran sera d'autant plus nette que

l'écran recevra moins de lumière par les côtés. L'expérience ne réussirait donc pas en plein air. Dans la figure, l'observateur est trop près de la fenêtre, il doit se placer au fond de la chambre où il fait plus sombre. Ce qui vaut le mieux, c'est que la chambre soit tout à fait obscure, par exemple en pratiquant l'ouverture dans un volet. Cependant cela n'est pas nécessaire, et, avec un peu de patience, on réussit toujours en suivant la marche indiquée plus haut.

Sur l'écran, l'image du paysage se forme renversée: ce qui, dans l'objet, est en haut et à droite se trouve, dans l'image, en bas et à gauche. L'explication de ces phénomènes importants sera donnée dans l'Exercice suivant.

Plus l'écran est loin de l'ouverture, plus l'image est grande, mais moins elle est éclairée.

127. Pratiquez une fine ouverture au milieu d'une feuille de papier noir, tenez la feuille à environ 6^{cm} d'une bougie allumée et observez l'image de la bougie sur un écran transparent placé derrière l'ouverture. (V. la fig.)



Nous avons appris en Acoustique que les vibrations sonores d'un corps ne sont perçues par l'oreille ou entendues que s'il se trouve entre le corps qui résonne et l'oreille un milieu matériel qui puisse exécuter les mêmes vibrations que la source sonore. Ce milieu ou cette matière s'appelle un *conducteur*. Ainsi l'air, le bois, l'eau, etc. sont de bons conducteurs des vibrations acoustiques. — Nous devons nous représenter quelque chose de semblable dans les phénomènes lumineux. De nombreuses observations nous obligent à admettre que les parcelles d'une source de lumière sont animées d'un mouvement vibratoire très vif, et

que ces vibrations se propagent dans l'espace sous forme d'ondes par le moyen desquelles nous percevons la source lumineuse: c'est ce qu'on appelle *voir*. Donc, principe fondamental en Optique: Nous ne pouvons voir un corps que s'il émet des vibrations lumineuses qui arrivent jusqu'à notre œil. Il faut donc toujours qu'il y ait entre la source lumineuse et l'œil une matière qui puisse conduire et propager les vibrations lumineuses. Cette matière doit être différente de l'air, car nous voyons par exemple le soleil, quoique les espaces célestes soient vides d'air. Aussi admet-on généralement que l'univers est rempli d'une matière subtile et impondérable — l'éther — qui participe aux vibrations des corps lumineux et les transmet jusqu'à notre œil.

Cependant cette théorie des phénomènes lumineux semble en contradiction avec une observation importante. En tenant la main entre l'oreille et une cloche qui résonne, nous entendons encore le son, bien qu'affaibli. Les vibrations acoustiques de l'air contournent donc la main. Au contraire, en tenant la main entre l'œil et la flamme d'une bougie, nous cessons de voir la source lumineuse. Beaucoup d'autres observations le prouvent: nous ne voyons une lumière que s'il ne se trouve sur la ligne droite qui joint la lumière à l'œil aucun corps capable d'arrêter les vibrations lumineuses.

Toutefois, d'après des recherches plus approfondies, le principe ainsi énoncé n'est pas vrai dans toute sa rigueur. Certaines vibrations lumineuses contournent aussi la main, mais elles sont si faibles qu'elles ne peuvent être perçues dans les conditions d'observation ordinaires. Donc, pour être exact, il faut dire: Les seules vibrations lumineuses ordinairement actives sont celles qui viennent en ligne droite de la source lumineuse. C'est dans ce sens qu'on dit, d'une manière abrégée: la lumière se propage en ligne droite.

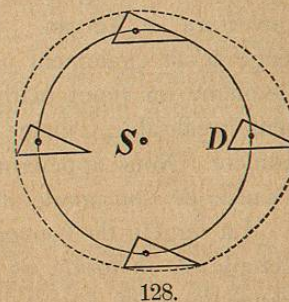
Les vibrations lumineuses qui se trouvent sur une ligne droite venant de la source se nomment un *rayon* de lumière. Un corps lumineux émet des rayons dans toutes les directions. Mais un rayon isolé n'est qu'une abstraction mathématique. L'œil ne peut jamais recevoir, d'un objet lumineux, un seul rayon à la fois, il en reçoit toujours un grand nombre ou un *faisceau* de rayons. Pour que l'œil voie un objet, il faut que chaque point de l'objet puisse envoyer dans l'œil un faisceau lumineux.

Les rayons de lumière sont invisibles en eux-mêmes. Nous ne remarquons leur existence que lorsqu'ils rencontrent notre œil ou un corps auquel ils puissent communiquer leurs vibrations, de manière que ce corps semble lumineux et envoie des rayons de lumière dans notre œil. Dans le premier cas, il se forme dans notre œil l'image de la source lumineuse, dans le second, celle du corps éclairé. Un exemple pour éclaircir ce dernier point. Quand le soleil donne dans une chambre par la fenêtre, nous ne pouvons pas d'ordinaire voir les rayons, mais nous croyons les voir nettement s'il y a beaucoup de poussière dans l'air de la chambre. En réalité, nous ne voyons alors que les grains de poussière éclairés par le soleil — et même ceci n'est-il pas encore rigoureusement exact. En effet, comme nous le montrerons plus loin, nous voyons une infinité d'images de différents points du soleil, images qui se produisent dans une disposition telle qu'elles peuvent passer pour une image des grains de poussière. Plaçons devant nous une bougie, et présentons à la flamme un écran de papier. Nous le voyons vivement éclairé, parce que la source lumineuse rayonne vers tous les points de l'écran: elle émet en effet des rayons dans toutes les directions. Si maintenant nous pouvions disposer les choses de telle sorte que chaque point de la flamme ne pût envoyer sur l'écran qu'un seul rayon, il devrait se former sur l'écran une image de cette flamme. Or, quand nous tenons entre la flamme et l'écran la feuille de papier noir, l'écran n'est pas éclairé, parce que le papier intercepte les rayons lumineux. Mais quand nous pratiquons dans le papier une fine ouverture, un faible faisceau lumineux peut arriver à travers cette ouverture de chaque point de l'objet jusqu'à l'écran. Il se produit ainsi sur l'écran une image de l'objet. L'image est renversée. Ce qui dans l'objet est en haut et à droite se trouve dans l'image en bas et à gauche. On le comprend aisément en considérant la figure. AOa et BOb représentent des rayons partant des points A et B de la source lumineuse, traversant en O l'ouverture pratiquée dans le papier noir, et rencontrant l'écran en a et en b . L'image est d'autant plus grande que l'on tient l'écran plus loin de l'ouverture. Cela se voit sur la figure sans autre explication. Mais ce que l'image gagne en grandeur, elle le perd en clarté et en netteté. La diminution de clarté s'explique par la considération suivante. Il passe par l'ouverture O toujours la même

quantité de lumière, quelle que soit la distance de l'écran à l'ouverture. La petite image qui se forme sur l'écran rapproché reçoit donc autant de lumière que l'image plus grande qui se forme sur l'écran éloigné. Si la surface de la petite image est exactement 1cm^2 et celle de la grande 4cm^2 , 1cm^2 de la grande ne recevra que le quart de la lumière qui éclaire 1cm^2 de la petite. — Quant à la diminution de netteté, en voici l'explication. Le point A du corps lumineux peut envoyer, à travers l'ouverture O , tout un faisceau de rayons qui vont en divergeant en forme de cône; l'ouverture de ce cône est d'autant plus grande que le trou O est plus large. L'image du point est donc, non pas précisément un point, mais une petite surface qui grandit à mesure que l'ouverture O s'élargit ou que l'écran s'éloigne de l'ouverture. L'image de l'objet paraît donc toujours plus ou moins confuse.

On nomme *chambre noire* une caisse disposée de manière que les phénomènes lumineux de ce genre ne soient pas troublés par des lumières étrangères.

128. Tenez perpendiculairement à la direction des rayons solaires une feuille de papier noir, percée au milieu d'une ouverture dont on fait varier la forme pendant l'expérience, et observez, sur une feuille de papier placée à différentes distances de l'ouverture, l'image du soleil produite par les rayons qui ont traversé l'ouverture. (V. la fig.)



En répétant l'expérience 127, — mais en remplaçant la bougie par le soleil, — nous obtenons naturellement sur l'écran derrière l'ouverture l'image du soleil au lieu de celle de la bougie. Nous verrons donc ordinairement un disque rond et brillant. Néanmoins les commençants sont portés à considérer ce disque comme une image, non pas du disque solaire, mais de l'ouverture si elle ronde. Pour se convaincre que c'est bien une image du soleil, on peut procéder de deux façons. D'abord, il

est bon de faire une fois l'expérience à un moment où le soleil n'est pas un disque rond lumineux, car alors son image paraîtra changée; ensuite, nous pouvons modifier la forme de l'ouverture pour pouvoir distinguer l'image du soleil ou le disque rond de celle de l'ouverture. La première condition se vérifie au moment d'une éclipse de soleil. Si on fait l'expérience au moment où le soleil présente, à sa partie éclairée, la figure d'un croissant, nous verrons en effet se former sur l'écran une image de même forme. — En employant une chambre noire, construite d'après ce qui a été dit aux nos 126 et 127, il n'est pas nécessaire d'attendre une éclipse de soleil. On peut représenter le soleil par un disque de papier blanc, fortement éclairé, sur un fond noir, et faire glisser dessus un disque de papier noir pour remplacer la lune. On aura ainsi la représentation d'une éclipse, et, en l'observant dans la chambre noire, on verra d'abord l'image d'un disque blanc, puis celle d'un croissant. Si au contraire on fait varier la forme de l'ouverture — comme le propose le texte de l'Exercice — il faut, pour expliquer l'image qui se forme sur l'écran, revenir sur une remarque faite au n° 127. Nous avons conclu alors que l'image d'un point de l'objet lumineux n'est pas précisément un point, mais une petite surface, dont la grandeur dépend de la largeur de l'ouverture et de la distance entre l'ouverture et l'écran. Il n'y aurait qu'un seul cas où cette image serait également un point, savoir quand l'ouverture serait elle-même un point mathématique. Dans ce cas, malheureusement irréalisable, l'image de l'objet serait parfaitement nette et distincte. Nous appellerons cette image «l'image mathématique» à cause de son mode de production.

La largeur de l'ouverture se confond ici avec sa forme. Par exemple si la forme de l'ouverture est un triangle, l'image de chaque point de l'objet lumineux sera aussi un triangle éclairé. Ainsi, dans l'image mathématique, chaque point se résout en une surface triangulaire. Or ici l'image mathématique est un cercle; donc, en chaque point de ce cercle se superposent en partie plusieurs petits triangles. Mais évidemment, pour la forme de l'image produite, ce sont les points limites de l'image mathématique qui sont seuls importants: or ces points forment un cercle.

Représentons ce cercle par celui qui, dans la figure 127, a pour centre le point *S*. Plaçons en un point quelconque de ce

cercle la surface triangulaire *D* et promenons-la autour du cercle en la maintenant dans la même direction, nous obtiendrons la ligne qui limite l'image réelle cherchée. En considérant la figure, on voit sans plus d'explications, que cette ligne se rapproche d'autant plus d'une circonférence que le rayon du cercle décrit du point *S* est plus grand et le triangle *D* plus petit. En d'autres termes, plus l'ouverture triangulaire est petite et éloignée de l'écran, plus l'image produite par les rayons solaires se rapproche d'une surface de cercle.

On peut aussi considérer l'image comme produite par un mouvement de l'image mathématique. Il faut alors regarder la forme de l'ouverture comme le chemin décrit par le centre du cercle. Nous abandonnons cette recherche au travail personnel de chacun.

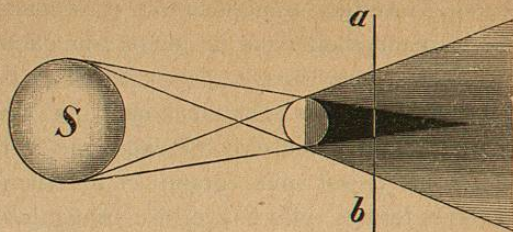
On obtient également une surface circulaire avec une ouverture quadrangulaire, avec une fente rectiligne, un croissant, etc., pourvu que l'écran soit suffisamment éloigné de l'ouverture. (On découpera ces ouvertures dans le papier avec un canif, en plaçant le papier sur une lame de verre.)

Il résulte encore des explications précédentes que l'image produite pendant une éclipse de soleil doit être un croissant brillant, pourvu que l'écran soit suffisamment éloigné de l'ouverture. On peut reproduire le même effet avec la chambre noire en y adaptant une petite ouverture, triangulaire par exemple, et en la dirigeant vers un croissant de papier blanc placé sur un fond obscur: on verra l'image du croissant éclairé.

129. Pratiquez, au milieu d'une feuille de papier noir, une petite ouverture de forme quelconque, tenez la feuille devant une bougie allumée, et observez sur un écran transparent l'image qui se produit.

On obtient toujours l'image de la bougie, quelle que soit la forme de l'ouverture, pourvu que cette ouverture ne soit pas trop grande et que l'écran en soit assez éloigné. On observera les phénomènes lumineux qu'on obtient en employant une ouverture en fente dans diverses positions et qui sont expliqués au n° 128.

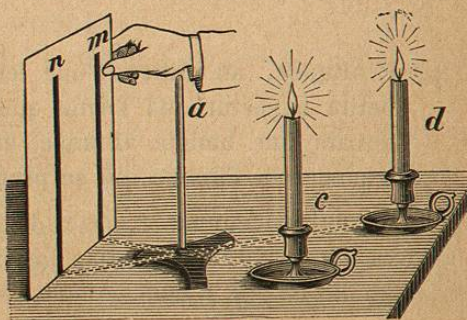
130. Présentez une boule opaque aux rayons du soleil, et observez l'ombre portée sur un écran placé derrière la boule. (V. la fig.)



130.

La figure de l'ombre ne dépend pas de la distance entre la boule et l'écran. Dans la figure, *S* représentant le soleil, il est clair qu'il y a, derrière la boule, deux sortes d'ombres: le cône d'ombre ou l'espace dans lequel ne peut arriver aucun rayon solaire et la pénombre ou l'espace dans lequel ne peuvent arriver que les rayons émis par une partie de la surface solaire. L'écran *ab* étant placé, comme le montre la figure, dans le cône d'ombre, nous devons observer, comme ombre de la boule, un cercle noir, entouré d'un anneau faiblement éclairé. — La figure de l'ombre ne paraît nette et distincte que si l'écran est à petite distance de la boule; à plus grande distance, l'ombre centrale se change peu à peu en pénombre. — L'ombre centrale d'un bâton exposé à la lumière solaire a une longueur égale à 105 fois environ l'épaisseur du bâton. Pour une aiguille à tricoter de 2^{mm} de diamètre, cette ombre atteindrait à peu près à 21^{cm} de l'aiguille.

131. Dressez un bâton devant deux bougies allumées et derrière le bâton un écran blanc. Observez comment varie la clarté des deux ombres du bâton lorsqu'on change la distance d'une des bougies au bâton. (V. la fig.)



131.

Dans la figure, les deux bougies sont *c* et *d*, les ombres du bâton tombent sur l'écran en *m* et en *n*. L'ombre *m* est évi-

demment éclairée par la bougie *d* et l'ombre *n* par la bougie *c*. Si les deux sources lumineuses sont égales et également distantes tant de l'écran que du bâton, les deux ombres apparaîtront également obscures. C'est ce qu'on devra réaliser d'abord, en déplaçant l'une des deux bougies. (On placera les lumières de telle sorte que les deux ombres soient le plus rapprochées possible.) Ensuite on éloignera ou rapprochera l'une des lumières pour observer le changement de l'intensité des deux ombres.

Si les deux sources lumineuses n'ont pas la même intensité (par exemple en remplaçant par une lampe l'une des deux bougies), la lumière la plus forte doit se trouver plus loin du bâton pour que les deux ombres paraissent également éclairées. — On emploie ce principe pour comparer les intensités de deux lumières.

132. Essayez si l'expérience 131 peut réussir quand l'une des deux lumières est le soleil.

L'essai doit se faire quand le soleil est assez bas sur l'horizon, dans la matinée ou dans l'après-midi. On remarquera tout de suite que l'ombre produite par la bougie reste imperceptible, même en approchant la flamme du bâton autant que possible. Le soleil éclaire tellement l'ombre produite par la bougie sur l'écran que la différence d'éclat entre la place de l'ombre et le reste de l'écran ne peut plus être perçue par l'œil. — A cette occasion, il est très intéressant d'observer l'ombre de la bougie et de sa flamme éclairée par le soleil.

Réflexion de la lumière.

133. Recevez dans une chambre les rayons solaires sur une feuille de papier blanc, inclinez cette feuille dans différentes positions, et observez, la partie des murs que le soleil n'éclaire pas directement.

Dans certaines positions de la surface blanche, il se projette sur les murs un reflet blanc, parfois assez clair pour que l'on perçoive les ombres des objets voisins. Pour expliquer ce fait, quelques remarques sont nécessaires. Quand les rayons émanés d'une source de lumière rencontrent un corps, il y a toujours une partie de ces rayons qui est renvoyée à l'extérieur tandis

que l'autre pénètre dans le corps. Celle-ci se divise à son tour, une partie traverse le corps tandis que l'autre s'y transforme soit en une autre lumière, soit en chaleur, soit en activité chimique. Il y a donc, parmi les rayons reçus :

- 1^o une partie renvoyée à l'extérieur du corps,
- 2^o une partie transformée dans le corps lui-même, et
- 3^o une partie qui traverse le corps et passe au delà.

Il n'y a sur la terre aucun corps où ne se présente qu'un seul de ces trois cas, à l'exclusion des autres, mais il y en a généralement un qui prédomine, d'après la nature des corps. Le premier cas se présente surtout dans les corps opaques dont la surface est plus ou moins polie et placée à peu près dans la direction des rayons incidents. Le second cas prédomine dans les corps à surface rugueuse et sombre, comme le noir de fumée, le papier noir, etc. Dans la troisième catégorie sont les corps dits transparents dont la surface est lisse et se présente à peu près perpendiculairement aux rayons incidents, comme les verres appelés glaces.

Dans les Exercices suivants, nous allons examiner de plus près les phénomènes de la première catégorie ou phénomènes de réflexion. Un corps qui renvoie la plus grande partie des rayons qu'il reçoit se nomme un miroir.

En revenant à notre expérience, nous devons considérer la feuille de papier avec ses aspérités et ses enfoncements comme la réunion d'une infinité de petits miroirs dirigés en tous sens. La surface du papier blanc renvoie donc dans toutes les directions les rayons qu'elle reçoit, de manière à éclairer faiblement la muraille voisine.

134. Recevez sur le miroir les rayons du soleil ou d'une bougie allumée, et observez comment la place où l'image se forme dépend de l'inclinaison du miroir par rapport aux rayons incidents.

On peut, en faisant varier l'inclinaison du miroir, faire tomber l'image sur n'importe quel point des murs. Mais maintenant, à la différence de ce que nous avons vu dans l'Exercice 133, les rayons renvoyés ou réfléchis restent réunis sans s'éparpiller, c'est-à-dire que tous les rayons de même direction sont déviés également par le miroir. C'est pour cela que les rayons réfléchis

par un miroir peuvent former une image de la source lumineuse, tandis que les rayons renvoyés en tous sens par le papier blanc ne font que rendre visible la surface du papier. Comparez les remarques faites à l'Exercice 127.

Recevez les rayons solaires sur le miroir et sur la glace non étamée, projetez les deux images l'une près de l'autre sur l'un des murs de la chambre, et observez la différence d'intensité entre ces deux images.

Le miroir et la glace non étamée ont la même surface, néanmoins le miroir donne une image notablement plus éclairée que l'autre glace. Un coup d'œil sur les ombres portées par les deux plaques nous montre que la glace nue laisse passer presque tous les rayons, tandis que le miroir argenté les réfléchit presque tous. Aussi l'ombre du miroir est-elle une surface presque noire, celle de la glace nue ne se remarque presque pas, si ce n'est sur le pourtour.

136. Tenez tout près l'un de l'autre le miroir et la glace sans enduit, regardez dans chacun d'eux la flamme d'une bougie, et observez la différence d'intensité entre les deux images.

On tiendra les deux plaques, devant l'œil, et on y regardera la flamme d'une bougie placée de côté à 1 mètre environ de l'observateur. Les deux plaques étant très rapprochées l'une de l'autre, on peut comparer aisément l'intensité des images. Celle que fournit la glace nue paraît notablement plus faible que l'autre, par la raison donnée à l'Exercice 135.

137. Donnez au miroir une position telle que les rayons du soleil s'y réfléchissent vers le plafond blanc de la chambre, recouvrez partiellement le miroir de manière à réduire sa surface libre à une ouverture dont on peut changer la forme pendant l'expérience, et observez la forme de l'image produite.

Si le miroir est suffisamment éloigné du plafond, l'image a la forme d'un disque éclairé sensiblement rond, quelle que soit la forme de l'ouverture. Lorsque, par exemple, sans recouvrir le miroir rectangulaire, on projette avec ce miroir les rayons du soleil vers le mur d'un bâtiment assez éloigné, on y voit un grand cercle brillant, à moins que le mur ne soit lui-même