

208. A 50^{cm} environ de l'œil placez une feuille d'impression ordinaire, et approchez-la de l'œil aussi près que vous le pouvez sans devoir faire d'effort pour voir distinctement les caractères.

Il existe pour chaque œil une distance déterminée en deçà de laquelle on ne peut approcher l'écriture si l'on veut la distinguer nettement sans le moindre effort. Cette distance se nomme *distance de la vision distincte*. Elle est de 25^{cm} environ pour l'œil emmétrope. Un tel œil peut donc voir nettement tous les objets placés devant lui à une distance comprise entre 25^{cm} et l'infini.

En nous en tenant uniquement au phénomène physique de la vision, ce fait signifierait que l'œil emmétrope est conformé de manière à produire sur la rétine l'image de tous les objets dont la distance au cristallin est comprise entre 25^{cm} et l'infini. Mais cela est absolument impossible à moins de modifications ultérieures. Pour l'œil emmétrope à l'état de repos, l'image d'un objet très éloigné se forme, nous le savons, exactement sur la rétine. Si l'œil n'éprouvait aucune modification, l'objet s'approchant de la lentille, l'image s'en éloignerait: elle tomberait donc derrière la rétine, et l'œil n'aurait que des impressions lumineuses confuses. Pour que l'image se forme sur la rétine, il faut que la courbure du cristallin devienne plus forte ou qu'il s'éloigne de la rétine. Ces deux modifications ont lieu à la fois. On s'en est assuré en observant les images qu'une bougie placée à côté de l'œil produit par réflexion sur la face antérieure et sur la face postérieure du cristallin. Ainsi, quand l'œil s'adapte pour voir distinctement un objet rapproché, un muscle augmente la courbure du cristallin qui est en même temps poussé en avant. Cette importante propriété de l'œil se nomme *pouvoir d'accommodation*; on dit que l'œil *s'accommode* à différentes distances.

209. Entre l'œil et l'objet placez la lentille dans une position telle qu'on voie nettement une image renversée de l'objet. Interposez alors entre l'œil et la lentille un écran transparent à la place voulue pour qu'on y voie une image nette de l'objet. A quelle distance l'écran est-il alors de l'œil?

L'écran se trouve à la distance de la vision distincte. On fera trois expériences. On placera d'abord l'objet (de préférence

une bougie allumée) au double de la distance focale, puis à un mètre de la lentille. Enfin on considérera un des objets du paysage. On placera l'œil aussi près que possible de la lentille, pourvu que l'objet paraisse encore renversé sans qu'on ait à faire aucun effort. Comme écran transparent, on peut employer du papier huilé, du papier de soie ou du verre mat. Evidemment, la distance de l'œil à la lentille ne doit pas changer pendant qu'on place l'écran entre les deux.

210. Tenez le doigt à 25^{cm} devant l'œil, et observez d'abord comment paraît le doigt lorsque l'œil voit distinctement un objet éloigné, puis comment paraît cet objet quand l'œil voit distinctement le doigt.

Quand on voit distinctement l'objet éloigné, le doigt paraît confus; inversement, l'objet paraît confus quand on voit distinctement le doigt. Cela s'explique très simplement. Quand l'œil voit distinctement l'objet éloigné, la courbure du cristallin et sa distance à la rétine sont telles qu'il projette l'image de l'objet exactement sur la rétine. L'image du doigt, qui est plus rapproché, doit donc tomber derrière la rétine. Au contraire, quand l'œil est accommodé pour voir nettement le doigt, qui est tout près, l'image de l'objet éloigné tombe devant la rétine.

211. Comment paraît le cadre d'un miroir quand l'œil y voit distinctement l'image d'un objet éloigné?

Le cadre paraît confus et indécis, car son image dans l'œil tombe derrière la rétine. On placera l'œil à 30^{cm} environ du miroir.

212. Quand l'œil voit distinctement à travers la lentille un objet éloigné, il le voit renversé et plus petit. Pour quelle distance est-il alors accommodé?

L'œil est accommodé pour la distance de la vision distincte; ainsi, l'image d'un objet placé devant l'œil à cette distance se formerait alors exactement sur la rétine. On prendra pour objet un arbre éloigné ou une colline.

On voit aisément tout d'abord que le cristallin n'est pas accommodé pour la distance de l'objet éloigné. En effet, quand l'œil voit, à travers la lentille, une image distincte de l'objet, il voit ce même objet confusément s'il le regarde en même temps

directement, à côté de la lentille. Inversement, quand l'œil s'accommode de manière à voir directement l'objet éloigné d'une manière nette et distincte, il ne le voit que confusément à travers la lentille, placée, bien entendu, comme auparavant. — Il reste encore à rechercher pour quelle distance l'œil s'est accommodé. Dans ce but, tout en continuant à regarder à travers la lentille l'objet éloigné, on tiendra devant l'œil une bande de papier écrite ou une règle divisée, et l'on cherchera à quelle distance de l'œil il faut placer le papier ou la règle pour que l'œil voie à la fois nettement l'écriture par vision directe et l'objet éloigné à travers la lentille. On trouvera qu'alors le papier est à la distance de la vision distincte. On peut répéter l'expérience, comme dans l'Exercice 209, avec un écran transparent, portant au bord des caractères d'écriture pour qu'on puisse le placer avec plus de précision. — Ainsi, quand l'œil voit, à travers la lentille, un objet renversé, ce n'est pas en réalité l'objet lui-même qu'il voit, mais son image produite par la lentille.

213. A quelle distance de la lentille doivent se trouver l'œil et l'objet pour que l'œil voie à travers la lentille l'objet renversé et plus grand.

L'image est renversée quand la distance de l'objet à la lentille est plus grande que la distance focale. L'image est plus grande que l'objet quand la distance de l'objet à la lentille est comprise entre la distance focale et le double de cette distance (Exercice 201). La distance de l'œil à l'image doit être égale à la distance de la vision distincte (Exercice 212).

214. Observez à travers la lentille la flamme d'une bougie placée à 75^{cm} de l'œil, et cherchez deux positions de la lentille telles que la bougie paraisse d'abord renversée et plus grande, puis renversée et plus petite.

Cette expérience est une suite de l'Exercice 202. Comme terme de comparaison, on placera devant l'œil un écran transparent à la distance de la vision distincte.

Quand l'œil voit sur l'écran l'une des deux images renversées, il verra, en enlevant l'écran, la même image, mais plus intense.

215. Tout étant disposé comme dans l'Exercice précédent, si l'on écarte encore davantage de l'œil la lentille, la

flamme paraît droite et plus grande. Quelle est alors la distance de la flamme à la lentille?

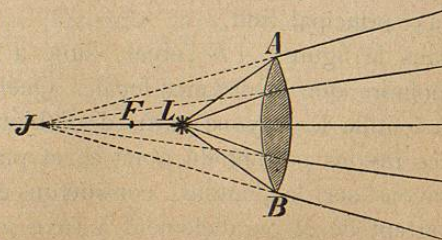
La flamme se trouve alors entre le foyer et la lentille; sa distance à la lentille est moindre que la distance focale.

216*. Dans la disposition de l'Exercice précédent, l'œil est à plus de 60^{cm} de la lentille. En approchant l'œil de la lentille, l'observateur verra évidemment d'une manière plus distincte l'image droite et agrandie de la flamme. Pour quelle distance l'œil s'est-il accommodé lorsqu'il voit cette image le plus nettement possible, mais sans devoir faire aucun effort?

L'œil s'est accommodé pour la distance de la vision distincte, quoique sa distance à l'objet (la flamme) soit bien moindre que la distance de la vision distincte. En opérant comme dans l'Exercice 212, on observe que la règle divisée vue directement se trouve placée à la distance de la vision distincte. Elle est alors derrière la bougie, l'œil est donc accommodé pour un point situé derrière la flamme. Néanmoins nous ne parviendrons pas à recevoir une image sur un écran placé en cet endroit. Comment expliquer ce phénomène?

217. Placez devant une bougie allumée un écran noir percé d'une fine ouverture, et recevez l'image renversée de la flamme sur un écran transparent dressé derrière l'ouverture, comme dans l'Exercice 127. Observez comment varie la grandeur de cette image lorsqu'on tient, entre l'ouverture et l'écran transparent, la lentille à une distance de l'ouverture moindre que sa distance focale. (V. la fig.)

L'image de la flamme devient plus petite et plus intense. Dans notre expérience, l'écran avec l'ouverture se trouvait à 9^{cm}, la lentille à 17 ou 18^{cm} et l'écran transparent à 28^{cm} de la flamme. L'observation réussit d'autant mieux qu'on écarte plus complètement de l'écran



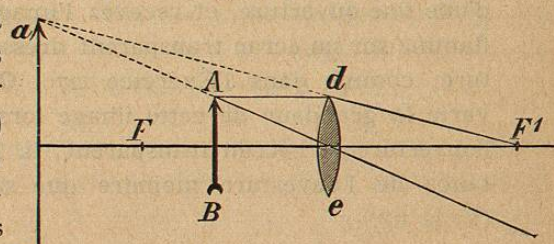
217.

toute lumière étrangère. C'est pourquoi il vaut mieux faire cette expérience le soir.

Explication. Dans la figure, L est un point lumineux sur l'axe principal de la lentille. Les rayons qu'il envoie sur la lentille éprouvent, en la traversant, une déviation de leur direction primitive, et leur direction en sortant de la lentille est la même que s'ils partaient d'un point \mathcal{F} plus éloigné de la lentille que l'objet L . — Si donc L représente l'image de la flamme produite par la fine ouverture de l'écran noir (O dans la fig. 127), les rayons venant de L se rapprochent les uns des autres en traversant la lentille: ils produisent donc sur l'écran transparent une image plus petite, mais plus intense, que si l'on n'employait pas la lentille.

218. Placez devant une bougie allumée un écran noir percé d'une fine ouverture, et recevez l'image renversée de la flamme sur un écran transparent, comme dans l'Exercice 127. Observez comment varie la grandeur de cette image lorsqu'on tient, entre l'ouverture et l'écran transparent, la lentille à une distance de la bougie moindre que sa distance focale. (V. la fig.)

L'image de la flamme devient plus grande, mais plus faible. — Dans l'Exercice précédent, l'objet était un point sur l'axe principal de la lentille; ici, nous devons considérer l'objet (la flamme) comme une surface. Il y a donc à considérer des points situés en dehors de b



218.

Soit, dans la figure, AB l'objet, situé à une distance de la lentille moindre que la distance focale. Quel chemin prendront derrière la lentille les rayons partis de l'objet? Suivons d'abord le trajet des rayons partant du point A , et parmi tous ceux que ce point envoie sur la lentille, considérons-en deux en particulier, l'un partant de A parallèlement à l'axe principal, l'autre dirigé de A vers le centre optique de la lentille. Nous connaissons pour

chacun de ces rayons le chemin qu'il suit au sortir de la lentille. (Exercices 182, 184 et 200.) Le rayon Ad passe par le second foyer F' , l'autre est un axe secondaire et conserve sa direction sans être dévié. Ces deux rayons prennent donc une direction telle qu'ils semblent venir de a . Si nous voulions calculer le trajet d'autres rayons que le point A envoie aussi sur la lentille, nous trouverions que tous prennent encore la même direction que s'ils venaient du point a . Semblablement, les rayons que le point B envoie sur la lentille prennent, à leur sortie de la lentille, la même direction que s'ils venaient du point b . Le même raisonnement s'applique à tous les points situés entre A et B .

Représentons-nous maintenant la lentille entourée d'un écran noir, ou enchâssée dans une ouverture faite dans un semblable écran. Il passera par l'ouverture à peu près les mêmes rayons et dans la même direction si l'objet AB envoie ses rayons à travers la lentille ou si un objet ab (qui doit être une reproduction agrandie de AB) envoie ses rayons à travers l'ouverture vide de l'écran. — Maintenant ces rayons rencontrent l'écran noir à fine ouverture dont parle l'énoncé du présent Exercice. Ils produiront donc, dans les deux cas, sensiblement la même image sur un écran transparent placé derrière la fine ouverture. Il faut actuellement rechercher si la grandeur de l'image de l'objet AB varie lorsqu'on enlève la lentille. Une figure très simple, analogue à la fig. 127, montre que l'image devient plus petite. La question posée dans cet Exercice a donc pour réponse que l'image de la bougie allumée devient plus grande quand on interpose la lentille.

En faisant l'Exercice 215, nous avons vu que l'image de la flamme se forme droite et agrandie. L'Exercice que nous traitons actuellement a pour but de nous représenter le phénomène physique qui se passe alors dans l'œil. La fine ouverture de l'écran remplace le cristallin (Exercice 201), l'écran transparent remplace la rétine de l'œil.

Comme nous le savons par l'Exercice 216, l'œil voit un objet agrandi lorsqu'il se trouve entre le foyer et la lentille, et il le voit le plus nettement possible lorsque l'image virtuelle de l'objet (ab dans la fig. 218) se forme à la distance de vision distincte. L'objet se trouve en deçà de cette distance, aussi l'œil le voit plus grand qu'à l'ordinaire, mais il ne le voit plus

nettement. Le principal effet de la lentille consiste à donner aux rayons partis de l'objet la même direction que s'ils venaient d'un objet proportionnellement plus grand, mais situé à la distance de vision distincte. Par la lentille l'objet ne nous paraît guère plus grand qu'auparavant, mais, avant tout, nous le voyons de nouveau nettement. Ce fait est surtout sensible lorsqu'on emploie une lentille à très court foyer. — La lentille convergente s'appelle *loupe* ou microscope simple lorsqu'elle sert à agrandir un objet placé près de l'œil.

Lorsque l'objet se trouve entre le foyer et la lentille, les rayons émis par lui sortent de la lentille avec la même direction que s'ils venaient d'un objet plus grand et plus éloigné. Ce dernier objet est seulement vu par l'œil sans exister en réalité. Ce n'est qu'une image, et une image qui ne peut pas être reçue sur un écran blanc; on l'appelle, à cause de cela, image apparente ou *virtuelle*. Telle est *ab* dans la figure. — On appelle au contraire *image réelle* celle qui peut être reçue sur un écran.

219. Observez un paysage à travers le verre coloré, et observez comment le paysage paraît moins éclairé lorsqu'on écarte davantage le verre de l'œil.

Quand le verre bleu est tout près de l'œil, celui-ci ne reçoit que des rayons bleus. Mais plus la plaque est éloignée de l'œil, moins il y a de rayons bleus sur le nombre des rayons qui arrivent à l'œil. Il arrive sur la rétine toujours plus de rayons clairs et toujours moins de rayons bleus ou obscurs. La forte impression faite sur le nerf optique par les rayons clairs le rend donc moins sensible à l'impression plus faible produite par les rayons bleus.

220. Fermez un œil, tenez devant l'autre œil ouvert une aiguille à coudre, et essayez de l'enfiler.

Le doigt fait passer le fil devant ou derrière l'aiguille, parce qu'un seul œil ne peut pas estimer la distance d'un objet à l'œil aussi exactement que le peuvent les deux yeux, à la suite d'un long exercice.

Appareils d'optique.

La *chambre obscure* (Camera obscura) est principalement employée en photographie. Les rayons émis par un objet éloigné sont concentrés par la lentille et forment une image, plus petite que l'objet et renversée, que l'on reçoit sur une plaque de verre. Sur cette plaque est étendue une couche d'une matière sensible à la lumière et qui se décompose aux endroits où tombent les rayons lumineux. On peut ensuite fixer et conserver la petite image ainsi produite.

La *lanterne magique* est l'inverse de la chambre obscure. Ce qui sert d'objet dans l'une devient l'image dans l'autre. On projette donc, au moyen d'une lentille convergente, une image agrandie d'un petit objet. Cette lentille s'appelle l'objectif. D'après les explications données précédemment, c'est près du foyer de l'objectif qu'il faut placer l'objet. Celui-ci est ordinairement un dessin peint sur verre. N'étant pas lumineux par lui-même, il doit être fortement éclairé.

Le *microscope solaire* ne se distingue de la lanterne magique que par la nature de la source lumineuse qui sert à éclairer l'objet et qui est ici le soleil au lieu d'être une lumière artificielle (lampe, lumière électrique, etc).

221. Pour étudier le fonctionnement d'un microscope solaire très simple, prenez pour objet un morceau de tulle fin, et projetez-en l'image sur une feuille de papier blanc étendue sur le plancher.

L'objet, la lentille et le papier doivent se trouver sur la direction des rayons solaires. Le tulle fortement éclairé par le soleil sert d'objet; la lentille en projette l'image sur la feuille de papier. Cette image est d'autant plus grande que le papier est plus éloigné de la lentille. De cet éloignement dépend aussi la distance à laquelle l'objet doit être de la lentille. L'objet étant fortement éclairé, on peut obtenir un grossissement assez considérable.

Le tulle convient bien pour servir d'objet parce que l'on peut facilement mettre son image bien *au point*, c'est-à-dire l'obtenir avec la plus grande netteté. On ne manquera pas de remarquer que l'image n'est jamais également nette partout. Si,

par exemple, le milieu est nettement au point, les bords paraîtront moins distincts; si, au contraire, les bords sont nets, le milieu paraîtra confus. Cela tient à la forme sphérique des faces de la lentille. L'image formée par la partie centrale de celle-ci se produit plus loin que l'image formée par les bords. Il se produit donc toute une série d'images placées l'une derrière l'autre. La distance entre la première et la dernière de ces images se nomme *aberration de sphéricité*.

Pour corriger cette aberration, on peut procéder de deux manières. On pourrait d'abord donner aux surfaces de la lentille une forme différente de la forme sphérique. Mais, cela étant très difficile, on préfère conserver la forme sphérique et employer une combinaison convenablement choisie d'au moins deux lentilles différentes. On nomme *aplanétique* un semblable système de lentilles. Un objectif aplanétique produit donc des images ayant partout la même netteté.

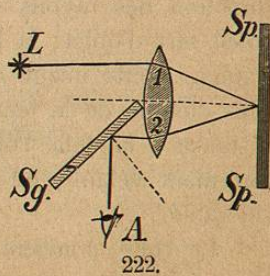
Le *microscope composé*, sous sa forme la plus simple, contient deux lentilles. On nomme *objectif* celle qui est du côté de l'objet, et *oculaire* celle qui est du côté de l'œil. L'objectif produit une image réelle de l'objet, et l'on observe cette image avec l'oculaire comme avec une loupe.

La *lunette astronomique* repose sur les mêmes principes que le microscope composé.

222*. Montez une lunette astronomique au moyen de la lentille et du miroir argenté. (V. la fig.)

Cet Exercice montrera comment, avec un peu de réflexion, on parvient à réaliser des choses qu'on croirait impossibles au premier aspect. D'après ce que nous venons de dire, il faut pour une lunette au moins deux lentilles;

mais rien n'empêche d'utiliser comme oculaire une moitié de notre lentille, et comme objectif l'autre moitié. Soit donc, dans la figure, *L* un objet éloigné envoyant des rayons à travers la moitié 1 (objectif); ces rayons se réfléchissent sur le miroir, et traversent l'autre moitié 2 (oculaire). Avec un peu d'adresse, on peut voir directement l'image en dirigeant l'œil vers cette moitié. L'observation est pourtant plus facile quand on emploie la

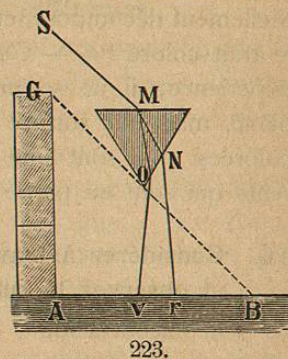


glace sans enduit pour renvoyer les rayons à la manière d'un miroir, comme le montre la figure. On trouvera par l'expérience la position à donner au miroir argenté. L'image de *L*, produite par l'objectif (moitié 1) de notre lunette, tombe entre le miroir et l'oculaire (moitié 2).

Dispersion de la lumière.

223. Le soleil donnant dans la chambre à travers la fenêtre ouverte, recevez les rayons sur le prisme, et placez celui-ci de manière à diriger les rayons vers la partie du plancher qui se trouve dans l'ombre. Placez à cet endroit une feuille de papier blanc, et observez le phénomène lumineux qui s'y produit. (V. la fig.)

Avant de faire cette expérience, on relira les explications données aux nos 170—173. Lorsque le prisme est convenablement placé, on voit sur la feuille de papier, une série de bandes colorées: c'est le *spectre* solaire. Dans la



figure, *G* est le seuil de la fenêtre, *GA* le mur, *AB* la partie du plancher qui se trouve dans l'ombre. — Des faisceaux de lumière solaire tombent sur le prisme dans la direction *SM*, ils sont réfractés et rencontrent le plancher entre *A* et *B*. Si l'action du prisme se bornait à dévier les rayons solaires, tous ceux qui traversent le prisme formeraient sur le plancher une surface blanche vivement éclairée. D'après l'Exercice 128, et vu la petite distance du prisme au plancher, cette surface aurait à peu près la forme d'un rectangle à contours un peu bombés. (La face que le prisme présente au soleil agit comme une ouverture rectangulaire.)

Mais au lieu de voir une surface blanche et claire, nous observons une surface plus large comprenant des bandes de diverses couleurs. La cause de ce phénomène réside dans une propriété particulière des rayons du soleil et dans un mode d'action spécial des corps réfringents.

1. Les rayons solaires sont un mélange d'une infinité de rayons de couleurs différentes. Entre les rayons des 7 couleurs principales: violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge, il y

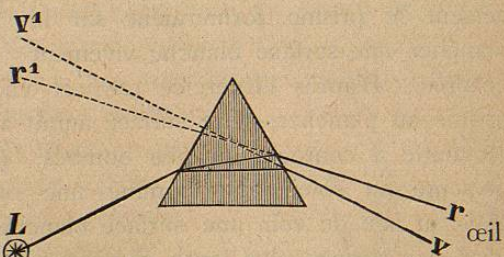
en a une infinité d'autres formant une transition insensible entre une couleur principale et une autre couleur voisine.

2. Quand un rayon de lumière passe d'un milieu dans un autre, il est réfracté ou dévié. La grandeur de la déviation dépend de la couleur du rayon. Ce sont les rayons rouges qui sont le moins déviés et les rayons violets qui le sont le plus.

Dans la figure, ces deux principes sont appliqués au rayon SM . Représentons-nous bien d'abord ce que c'est que ce rayon. Il se compose d'une infinité de rayons de nuances différentes. En pénétrant dans le prisme, ces rayons se séparent les uns des autres ou se *dispersent*. Le rayon extrême rouge se dirige vers N , l'extrême violet vers O . En sortant du prisme, les rayons sont encore déviés, et de nouveau les violets le sont plus que tous les autres; seulement aucun rayon ne subit de nouvelle décomposition. Si cette décomposition du rayon solaire SM en ses rayons élémentaires ne s'était pas produite dans le prisme, on apercevrait sur le plancher un point blanc; mais le rayon a été réellement décomposé, et c'est pour cela qu'on voit sur le plancher le trait coloré rv . — C'est pour la même raison que, dans notre expérience, il ne se produit pas sur le plancher un rectangle blanc, mais une surface plus large, striée de bandes diversement colorées. Ce sont une foule de petits rectangles colorés différents qui sont en partie superposés, en partie juxtaposés.

224. Considérez à travers le prisme la flamme d'une bougie, et observez la succession des couleurs. (V. la fig.)

On placera la bougie à un mètre et demi environ de l'œil; le fond derrière la flamme doit être aussi obscur que possible. On voit la flamme élargie et presque toutes les couleurs du spectre solaire. Si les rayons rencontrent l'œil à droite, on voit le rouge du côté gauche. — La flamme de la bougie contient à peu près les mêmes rayons colorés que la lumière solaire. On peut donc se représenter la flamme blanche comme la réunion de diverses flammes, rouge, jaune, verte, etc. La flamme rouge



224.

n'émet que des rayons rouges, la flamme violette, que des rayons violets.

Les rayons rouges étant moins déviés que les rayons violets, l'œil ne voit pas la flamme rouge à la même place que la flamme violette. Il en est de même pour toutes les flammes intermédiaires. Dans la figure, L est la flamme de la bougie. L'œil rapporte l'objet dans la direction suivant laquelle lui parviennent les rayons partis de cet objet. Il voit donc la flamme violette en v' et la flamme rouge en r' .

L'œil ne voit pas séparément les diverses flammes colorées, parce que l'image d'une flamme tombe en partie sur l'image voisine. Nous verrons, mais plus tard seulement, qu'il y a un moyen très simple d'arrêter les rayons diversement colorés et d'obtenir ainsi des images isolées des diverses flammes.

225. Collez sur une feuille de papier noir un disque de papier blanc de 2^{cm} de diamètre, et considérez ce disque à travers le prisme à des distances différentes.

On obtient un spectre allongé, terminé aux deux bouts par deux demi-cercles, en haut et en bas par des lignes droites. Cela suppose nécessairement qu'il y a une infinité de surfaces circulaires qui se superposent presque totalement.

Quand on considère le disque à petite distance, son milieu paraît blanc. La raison de ce fait est très simple. Le disque de papier blanc, qui doit être fortement éclairé, renvoie par réflexion les rayons solaires sur le prisme. Nous devons donc voir un disque rouge, un autre orangé, jaune, vert, etc. Ces disques tombent en partie les uns sur les autres. Si le disque est assez grand, une partie du dernier disque violet se superposera à une partie du premier disque rouge. Par suite, tous les disques de teintes différentes se superposent partiellement et doivent produire du blanc. Aussi, on ne voit à droite qu'une moitié des couleurs du spectre, l'autre moitié apparaît à gauche.

226. Découpez dans du papier noir une fente de 5^{mm} de large sur 5 à 10^{cm} de long; placez le papier devant la fenêtre de manière que l'on puisse voir le ciel clair à travers la fente, et observez cette fente à travers le prisme.

En se plaçant à la distance convenable, on voit un très beau spectre solaire.