

comme dans notre lentille, le centre optique est au milieu de l'épaisseur.

Aucun rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille n'est dévié par la réfraction; ceux qui suivent l'axe principal passent en ligne droite; les autres subissent simplement un petit déplacement, parallèlement à eux-mêmes; on nomme ces derniers: *axes secondaires*. Le foyer d'une lentille est l'image d'un objet situé à l'infini sur l'axe principal. Dans cette position de l'objet, les rayons qu'il envoie sur la lentille peuvent, sans erreur, être regardés comme parallèles entre eux. On peut dire aussi: Tous les rayons qui tombent sur une lentille parallèlement à l'axe principal se réunissent au foyer derrière la lentille.

On voit clairement par là pourquoi l'image du soleil se produit sur l'écran quand on place celui-ci à une distance égale à la distance focale. En effet, le soleil est tellement éloigné de la lentille que les rayons envoyés par un *point* du soleil vers la lentille peuvent, sans erreur, être regardés comme parallèles entre eux. Dans la figure, les rayons *S, S, S* arrivent tous d'un point du soleil. Le rayon *SA* est d'abord réfracté vers *A'* puis vers *F*. Les rayons *SB* et *SC* sont également déviés vers *F*. Le rayon *SM* passant par le point *M* n'est pas dévié: c'est l'axe principal si les rayons incidents sont parallèles à cet axe, ou bien un axe secondaire dans le cas contraire.

Notre lentille a évidemment deux foyers, un derrière chaque face, car nous pouvons recevoir les rayons solaires sur chacune de ces faces pour obtenir une image du soleil. Les deux foyers sont également distants du centre optique, parce que les deux courbures sont égales. Si alors la distance focale est de 9^{cm}, le rayon des deux portions de sphère est aussi de 9^{cm} environ.

183. Déterminez la distance focale de notre lentille en projetant sur un écran l'image d'un objet éloigné et mesurant la distance entre la lentille et l'écran.

On prendra pour objet un bâtiment éloigné. Sans doute, les rayons qu'il envoie sur la lentille ne sont pas rigoureusement parallèles, de sorte que la distance de l'image à la lentille n'est pas exactement égale à la distance focale, mais la différence est si petite qu'on peut la négliger sans aucune erreur. — On se placera donc au fond de la chambre, et on y recevra sur un écran blanc l'image d'un objet éloigné produite par la lentille;

on mesurera la distance de l'écran à la lentille: c'est la distance focale.

C'est là le procédé le plus usité pour déterminer rapidement et avec une exactitude suffisante la distance focale d'une lentille biconvexe. On ne prend pas pour objet le soleil, parce que l'éclat de son image éblouit l'œil, et l'empêche de bien apprécier la netteté de l'image pour placer exactement l'écran à la place voulue.

184. Placez une bougie allumée au foyer de la lentille, tenez un écran derrière celle-ci, et observez-y l'image qui se produit.

On ne trouve aucune position de l'écran où se produise une image nette et distincte de la flamme.

Explication: Le foyer est l'image d'un point lumineux situé à l'infini. Donc inversement, l'image d'un point situé au foyer se forme à une distance infinie: dans les deux cas, le trajet des rayons est le même, mais parcouru en sens inverse. En d'autres termes: Quand un point lumineux se trouve au foyer d'une lentille, les rayons émis par ce point sortent de la lentille parallèlement à l'axe principal.

Mais comme une flamme est un corps lumineux et non pas un simple point, elle ne peut jamais se trouver tout entière au foyer: c'est pourquoi on ne réussit jamais à faire prendre à tous les rayons sortant de la lentille des directions rigoureusement parallèles.

185. Enflammez une allumette au moyen de la lentille.

On recevra sur la lentille les rayons solaires, et l'on tiendra la tête de l'allumette au foyer. La lentille réfracte non seulement les rayons lumineux mais aussi les rayons calorifiques, et elle les concentre sur une petite surface voisine du foyer des rayons lumineux. Il s'y produit une élévation de température suffisante pour enflammer l'allumette.

186. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, tenez le verre coloré devant une moitié de la lentille, et observez derrière celle-ci, sur un écran blanc, la marche des rayons lumineux.

Comme le montre la figure 182, le demi-cercle coloré

diminue sur l'écran à mesure que celui-ci s'éloigne depuis la lentille jusqu'au foyer. Quand il a dépassé le foyer, le demi-cercle qui paraissait blanc devient coloré, et vice-versa. On fera mouvoir la plaque de verre pendant l'expérience.

187. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, tenez le verre coloré devant la lentille tout entière, et observez derrière celle-ci, sur un écran blanc, l'intensité lumineuse du disque projeté.

L'intensité du disque augmente quand l'écran s'approche du foyer. Elle est d'autant plus faible que le cercle est plus grand. — Quand on éloigne le verre coloré et qu'on dispose l'écran aussi loin que possible de la lentille, par exemple sur le plancher, l'ombre portée par le corps de la lentille paraît comme l'ombre d'un disque opaque, d'un cercle de carton, par exemple. — La lentille doit être disposée de telle sorte que les surfaces brillantes projetées sur l'écran soient rondes comme la lentille elle-même: alors son axe principal passe par le centre du soleil.

188. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, et placez derrière la lentille un écran à une distance telle que le cercle éclairé ait le même diamètre que la lentille. Comment déterminer alors la distance focale?

Le cercle éclairé sur l'écran doit avoir la même grandeur que la section principale de la lentille. Alors, d'après la figure 182, la distance de l'écran à la lentille est égale à deux fois la distance focale.

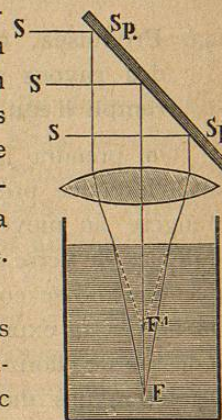
189. Observez la flamme d'une bougie dans la lentille comme dans un miroir.

Pour faciliter l'observation, on tiendra derrière la lentille une feuille de papier noir. On voit deux images de la flamme, l'une droite, l'autre renversée. Ces images proviennent des rayons émis par la flamme et réfléchis les uns sur la face antérieure de la lentille, les autres sur la face postérieure. Elles sont d'autant plus grandes que la flamme est plus près de la lentille. L'image renversée est la plus faible des deux.

190. Des deux images observées dans l'Exercice précédent, quelle est celle qui est produite par réflexion sur la face postérieure de la lentille?

C'est l'image renversée. — On pourrait déjà le conclure de ce qu'elle est la plus faible. Mais on s'en convaincra mieux encore en observant ce qui se passe lorsqu'on mouille la face postérieure. (Il suffit d'y appliquer un doigt mouillé.) A l'instant où l'eau vient mouiller le verre, elle permet à une partie des rayons, qui auparavant se réfléchissaient, de sortir de la lentille. Par suite, l'image renversée s'affaiblit et devient confuse, tandis que l'image droite ne change pas. Voyez à ce sujet les Exercices 160 et 169.

191. Au-dessus d'un verre rempli d'eau, installez la lentille de telle sorte que son axe principal soit vertical; au moyen du miroir, dirigez sur la lentille les rayons du soleil parallèlement à l'axe principal. Approchez alors de la lentille le verre d'eau, et observez la marche des rayons dans le liquide. (V. la fig.)



191.

Pour rendre visible le chemin des rayons dans l'eau, on y tiendra un morceau de savon sur lequel on frotera quelques fois avec le doigt, de manière que les parcelles dissoutes donnent à l'eau une couleur bleuâtre (V. l'Exercice 127). On peut aussi employer avantageusement quelques gouttes de teinture de myrrhe. — Dans la figure, *Sp* est le miroir. S'il n'y avait pas d'eau dans le verre, l'image du soleil se ferait en *F'*, mais l'eau fait dévier les rayons de telle manière que cette image se forme seulement en *F*. On écartera autant que possible toute lumière étrangère.

192. A quelle distance derrière la lentille vont se croiser les rayons du soleil lorsque, en sortant de la lentille, ils passent, non pas dans l'air, mais dans l'eau?

Le foyer d'une lentille est le point où vont se croiser les

rayons qui tombent sur la lentille parallèlement à l'axe principal. Notre expérience montre que la distance focale dépend essentiellement de la nature du milieu optique qui entoure la lentille. — On remplira d'eau de savon jusqu'au bord la grande éprouvette, et on tiendra la lentille au-dessus de l'eau, de manière que sa face inférieure vienne précisément au contact du liquide. On dirige alors, au moyen du miroir, les rayons solaires parallèlement à l'axe principal, et l'on cherche dans l'eau le point d'intersection des rayons lumineux. On facilite notablement l'observation en appliquant un papier noir sur le verre, du côté du jour. Les rayons se coupent à environ 20^{cm} au-dessous du niveau de l'eau; le foyer se trouve donc à 20^{cm} de la lentille.

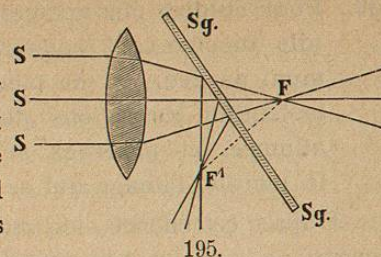
193. Produisez, au moyen de la lentille, la réflexion totale des rayons solaires sur la paroi intérieure d'un verre rempli d'eau.

On prendra la grande éprouvette remplie d'eau comme dans l'Exercice précédent, on écartera de nouveau la lumière étrangère au moyen du papier noir, et on disposera la lentille au-dessus du verre de telle sorte que les rayons solaires traversant la lentille ne se coupent qu'au-dessous du niveau de l'eau. Si l'on fait cette expérience à un moment où le soleil est élevé au-dessus de l'horizon, par exemple vers midi, on voit clairement que les rayons du soleil ne traversent pas la paroi du verre, mais qu'ils y éprouvent la réflexion totale.

194. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, placez le miroir argenté entre la lentille et le foyer, et cherchez la place où se forme l'image du soleil dans différentes positions du miroir.

L'image du soleil se forme toujours, en avant du miroir, à la même distance qu'elle se formerait derrière le miroir, si les rayons ne subissaient pas de réflexion. Le miroir n'empêche donc pas l'image de se produire, il en change seulement la position.

195. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, placez entre la lentille et le foyer la glace sans enduit, et cherchez la place où se forme l'image du soleil dans différentes positions du miroir. (V. la fig.)



On trouve deux images du soleil. L'une se produit derrière la glace à la même distance que l'autre par devant. Une partie des rayons solaires *S, S, S* traverse la glace *Sg.* et produit au foyer l'image du soleil *F*; l'autre partie est réfléchiée par la glace et donne l'image *F'*. Si la plaque de glace est fortement oblique par rapport à l'axe principal, l'image par réflexion l'emporte en intensité sur l'autre.

196. Placez à 30^{cm} environ devant la lentille deux bougies allumées, et recevez sur un écran blanc derrière la lentille les images des deux flammes. Placez alors entre la lentille et les images le miroir argenté, et cherchez la place où se forment les images dans différentes positions du miroir.

Les images sont toujours aussi loin devant le miroir qu'elles le seraient derrière le miroir, si les rayons ne subissaient pas de réflexion. (V. l'Exercice 138.) — Les images paraissent renversées, et la flamme de droite paraît à gauche.

197. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, tenez, derrière la lentille et à son foyer, le miroir argenté, perpendiculairement à l'axe principal, et observez la marche des rayons lumineux.

Les rayons sont réfléchis par le miroir vers la lentille et en sortent parallèles entre eux pour retourner vers le soleil. On tiendra à différentes distances un écran blanc devant une moitié de la lentille, et l'on observera le demi-cercle éclairé. La marche des rayons s'observe d'une manière encore plus frappante lorsqu'on place le verre coloré devant la moitié de la lentille qui n'est pas recouverte par l'écran. On avancera lentement le verre bleu devant la lentille, perpendiculairement à l'axe principal.

198. Pour étudier plus exactement les propriétés de la lentille biconvexe, recouvrez-la d'un disque de papier, muni de deux ou de plusieurs ouvertures, recevez sur la lentille les rayons du soleil ou ceux d'une bougie allumée, et observez sur un écran blanc, derrière la la lentille, l'image qui se produit.

D'après cet énoncé, les rayons émis par l'objet (soleil ou bougie) ne peuvent traverser la lentille qu'à un petit nombre de places. Néanmoins l'expérience montre qu'il se produit toujours sur l'écran une image régulière de l'objet; seulement cette image est d'autant plus faible que l'ouverture est plus petite. Ainsi, en couvrant toute la lentille sauf une petite ouverture carrée en dehors du centre, on obtient encore, en plaçant bien l'écran, une image de la bougie. On placera celle-ci à 20^{cm} environ de la lentille. L'ouverture étant très petite, l'image est très faible. On fera donc cette expérience le soir, pour mieux pouvoir écarter toute lumière étrangère.

L'objet et l'image par rapport à la lentille biconvexe.

199. Placez devant la lentille une bougie allumée dont l'image se projette derrière la lentille sur un écran blanc. Faites alors une série d'expériences en donnant à la bougie diverses positions depuis le foyer principal jusqu'à 2^m environ de la lentille et mesurant chaque fois les distances de l'image et de l'objet. (V. la fig. 179.)

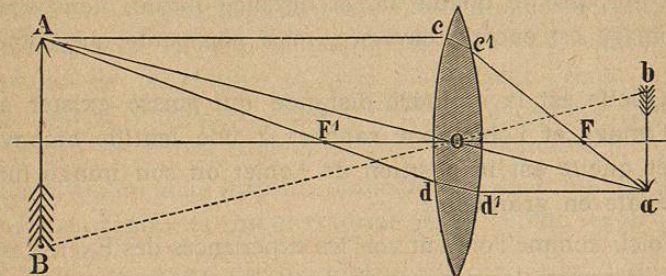
Voici les valeurs que nous avons obtenues dans une série d'expériences:

| Distance de l'objet à la lentille. | Distance de l'image à la lentille. | Distance de l'image à l'objet. |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| 9 ^{cm} | infiniment grande | infiniment grande |
| 10 ^{cm} | 90 ^{cm} | 100 ^{cm} |
| 12 ^{cm} | 36 ^{cm} | 48 ^{cm} |
| 15 ^{cm} | 22 ^{cm} | 37 ^{cm} |
| 18 ^{cm} | 18 ^{cm} | 36 ^{cm} |
| 27 ^{cm} | 13 ^{cm} | 40 ^{cm} |
| 36 ^{cm} | 12 ^{cm} | 48 ^{cm} |
| 45 ^{cm} | 11 ^{cm} | 56 ^{cm} |
| 90 ^{cm} | 10 ^{cm} | 100 ^{cm} |
| 200 ^{cm} | 9 ^{cm} | 209 ^{cm} |

La figure 179 indique la disposition de l'expérience.

L'examen de la troisième colonne du tableau montre que la distance entre l'image et l'objet ne peut pas devenir inférieure à une certaine valeur limite bien déterminée. Au début de l'expérience, l'image se trouvait à une distance infinie de la lentille, et elle s'est rapprochée du foyer à mesure que l'objet s'éloignait de l'autre foyer. (Pour plus de clarté, on n'a porté au tableau que des nombres entiers.)

200. Recommencez la série des expériences de l'Exercice précédent, en comparant en outre chaque fois la grandeur et la position de l'image avec la grandeur et la position de l'objet. (V. la fig.)



200.

L'image paraît toujours renversée; elle est d'abord plus grande que l'objet, puis elle diminue constamment de manière à devenir plus petite que l'objet. Plus elle est grande, plus elle est faible.

Pour faire comprendre les phénomènes observés dans cet Exercice et dans le précédent, nous devons expliquer comment se forme l'image d'un objet dont la distance à la lentille est comprise entre la distance focale et le double de cette distance. Soit la flèche ab l'objet, O le centre optique de la lentille, F et F' les foyers. Pour plus de clarté, on n'a figuré en détail que la formation de l'image d'un seul point, a . De ce point partent des rayons dans toutes les directions: nous n'avons à considérer que ceux qui tombent sur la lentille. Parmi ces derniers, nous ne suivrons dans leur trajet ultérieur que ceux qui nous sont déjà connus par les considérations développées jusqu'ici. Il y en a trois, savoir ad' , ao et ac' . Le rayon ad' , étant parallèle à l'axe principal, passe, après réfraction, au foyer F' (Exercice 182);

son chemin est donc $ad'dF'$. Le rayon aO est un axe secondaire (Exercice 182), il n'est donc pas dévié en traversant la lentille; son chemin est aOA . Le rayon ac' passe par le foyer F , il sort donc de la lentille parallèlement à l'axe principal (Exercice 184); son chemin est $aFc'A$. Tous les rayons partant du point a et compris entre les 3 rayons considérés se coupent comme eux au point A . (C'est la propriété optique la plus importante des lentilles convergentes.) Il se produit donc en A une image du point a . Les images des autres points de l'objet s'expliquent d'une manière toute semblable, de sorte que leur ensemble forme AB , image de ab . — Nous voyons que l'image est renversée et plus grande que l'objet. En traçant de même, par manière d'exercice, l'image d'un objet dont la distance à la lentille surpasse le double de la distance focale, nous verrons que l'image est encore renversée, mais plus petite que l'objet.

201. Quelle est la moindre distance qui puisse exister entre l'image et l'objet par rapport à une lentille biconvexe, et quelle est la position de l'objet où son image lui est égale en grandeur?

Voici, comme l'ont fait voir les expériences des Exercices 199 et 200, et comme le prouvent d'ailleurs des démonstrations mathématiques, le principe fondamental relatif aux lentilles convergentes:

Quand l'objet se trouve devant la lentille à une distance égale au double de la distance focale, l'image se forme à la même distance derrière la lentille. C'est alors que la distance entre l'image et l'objet est la plus petite possible; elle est égale à quatre fois la distance focale. La grandeur de l'image est alors égale à celle de l'objet.

Celui qui possède bien ce principe n'aura jamais de difficulté dans le maniement de la lentille. Si l'objet, placé à deux fois la distance focale, s'approche de la lentille, l'image s'éloigne de la lentille et devient plus grande que l'objet. Mais l'image se déplace considérablement plus vite que l'objet; en effet, pendant que l'objet parcourt une fois la distance focale, savoir depuis le double de cette distance jusqu'au foyer, l'image s'éloigne depuis le double de la distance focale jusqu'à l'infini. Si, au contraire, l'objet, placé à deux fois la distance focale, s'écarte de la lentille, l'image s'approche de la lentille et devient plus petite que l'objet. Mais alors l'image se déplace considérablement moins

vite que l'objet; en effet, pendant que l'objet s'éloigne depuis le double de la distance focale jusqu'à l'infini, l'image ne parcourt qu'une fois la distance focale, savoir depuis le double de cette distance jusqu'au foyer.

Nous pouvons maintenant nous expliquer ce que nous avons observé dans l'Exercice 181. Les différents objets du paysage sont à des distances différentes de la lentille, par suite, les images de chacun d'eux se forment à des distances différentes derrière la lentille: elles ne peuvent donc pas se projeter toutes à la fois sur un même plan.

La propriété que possèdent les lentilles de produire des images trouve son application dans divers appareils. La chambre noire, décrite aux nos 126 et 127, peut être notablement perfectionnée si l'on remplace la petite ouverture par une lentille. Il est vrai qu'alors l'image ne se produit plus qu'à une distance déterminée de la lentille et qu'il faut placer l'écran à cette distance, mais l'image est, en revanche, bien plus nette et mieux éclairée que les images produites d'après les Exercices 126 et 127.

La chambre noire (camera obscura) doit donc être construite exactement d'après la distance focale de la lentille qu'on doit y adapter.

202. Placez une bougie allumée et l'écran à une distance l'un de l'autre supérieure à quatre fois la distance focale et la lentille entre les deux; trouvez alors deux positions de la lentille telles qu'il se produise sur l'écran soit une image plus grande soit une image plus petite que l'objet.

On placera l'écran à 50^{cm} de la bougie. Lorsque la lentille est plus près de l'objet que de l'écran, il se produit une image plus grande que l'objet; l'image est plus petite dans le cas contraire. On trouvera que les deux positions de la lentille divisent dans le même rapport la ligne qui joint la flamme à l'écran, soit 50^{cm}.

203. Tenez à 10^{cm} devant une bougie allumée un écran muni d'une fente (la fente à la hauteur de la flamme), et projetez avec la lentille, sur un écran blanc, une image de la fente à 50^{cm} de celle-ci.

L'écran blanc se trouvera donc à 50^{cm} de l'écran à fente. On remarquera qu'il se produit d'abord une image de la bougie; l'image de la fente se produit seulement lorsqu'on écarte davantage la lentille de la fente. Ces images sont plus grandes que les objets correspondants. Si l'on continue à écarter la lentille de la fente, il se produit une image de la fente, mais plus petite, et enfin une image, plus petite aussi, de la bougie.

204. Dirigez, au moyen du miroir, les rayons du soleil sur un écran à fente, et projetez avec la lentille sur un écran blanc une image de la fente à 50^{cm} de celle-ci.

On obtient une image de la fente, plus grande ou plus petite, d'après la position de la lentille. Si la distance de celle-ci à l'écran blanc est égale à la distance focale, il se produit sur l'écran une image du soleil.

205. Déterminez la distance focale de la lentille de cette Collection, en appliquant le principe fondamental des lentilles convergentes.

On conservera la disposition de l'Exercice 204. D'après les explications données aux nos 201 et 202, la distance de l'image à la fente est égale à quatre fois la distance focale lorsque l'image et la fente ont exactement la même grandeur. On cherchera donc par tâtonnements où il faut placer l'écran blanc pour que la lentille, située entre l'écran et la fente, projette une image égale à l'objet. On mesure alors la distance entre l'écran et la fente: le quart de cette distance est la distance focale cherchée.

L'œil et la vision.

206. Représentez le phénomène physique de la vision au moyen de la lentille et d'un écran blanc.

Les parties principales de l'œil sont le cristallin et la rétine. Notre lentille fera l'office de cristallin, un écran blanc celui de rétine.

L'œil fonctionne comme une chambre noire (Exercice 201); en effet, le cristallin projette sur la rétine de petites images renversées des objets situés devant l'œil. L'œil normal, ou

mieux *l'œil emmétrope*, est conformé de telle manière que, dans l'état de repos et sans aucun effort, les images d'objets très éloignés se forment exactement sur la rétine, sorte de réseau formé par les ramifications du nerf optique et qui tapisse le fond de l'œil. Les vibrations lumineuses produisent sur ces filaments nerveux une impression qui se transmet par le nerf optique jusqu'au cerveau et détermine ainsi la sensation de la lumière.

Projetez sur un écran blanc, au moyen de la lentille, l'image d'un objet très éloigné: vous aurez représenté exactement tout le phénomène physique qui se passe à l'intérieur de l'œil quand il voit un objet vers lequel il est dirigé. L'expérience montre que l'écran est alors à 9^{cm} de la lentille. L'œil ne présente pas de distances aussi considérables; la rétine n'est qu'à 15^{mm} environ du centre optique du cristallin. Il faut donc que la courbure du cristallin soit différente de celle de notre lentille. Doit-elle être plus grande ou plus petite?

En appliquant les lois de la réfraction développées au n° 153 et traçant une figure analogue à celle de l'Exercice 182, mais donnant à la lentille une courbure plus forte, nous trouvons immédiatement la réponse: La lentille a une courbure d'autant plus forte que l'image d'un objet éloigné se forme plus près de la lentille. — On peut aussi résoudre la même question par la simple expérience qui suit.

207. Tenez horizontalement la lentille portant une goutte d'eau suspendue à sa face inférieure; dirigez, au moyen du miroir, les rayons du soleil sur la lentille, et cherchez en dessous de celle-ci l'image du soleil.

Pour faire adhérer la goutte d'eau à la lentille, on touchera avec celle-ci la surface du liquide, et on la relèvera verticalement; il y restera suspendue une goutte d'eau qui, par sa tension superficielle, produira le même effet que si le verre lui-même de la lentille avait une courbure plus forte. (La goutte d'eau ne doit pas être trop grosse.) — Nous obtenons deux images du soleil, formées, l'une par les rayons qui ont traversé le verre et l'eau, l'autre par les rayons qui n'ont traversé que le verre, autour de la goutte d'eau. La première se forme beaucoup plus près de la lentille que la seconde qui se trouve au foyer.