

158. Sur la feuille de papier portant des lignes parallèles, disposées perpendiculairement à la direction du regard, placez la glace sans enduit, et observez le déplacement que subissent les lignes lorsqu'on regarde très obliquement à travers la glace.

Les lignes vues à travers la glace paraissent s'éloigner de l'observateur en restant parallèles entre elles. V. l'Exercice 156.

159. Dirigez le regard vers un objet éloigné à contours rectilignes, et placez devant l'œil la glace sans enduit à une hauteur telle qu'on n'aperçoive à travers la glace que la moitié inférieure de l'objet. Faites alors tourner la glace en la maintenant verticale, et observez le déplacement de la moitié inférieure de l'objet.

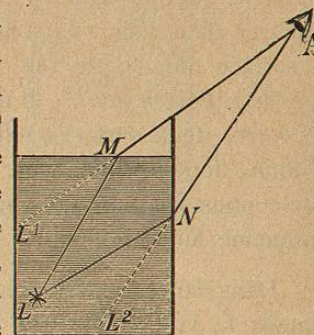
On prendra pour objet une tige de paratonnerre, une haute cheminée d'usine, etc., ou encore la fente découpée dans du papier noir (Exercice 148). — Tout rayon parti de la moitié inférieure de l'objet et arrivant à l'œil doit traverser la plaque de verre. Il subit donc une première réfraction en passant de l'air dans le verre et une seconde en passant du verre dans l'air. Mais, en sortant du verre, il s'écarte autant de la normale qu'il s'en était approché en entrant dans le verre: il ne peut donc que se déplacer parallèlement à lui-même. La grandeur de ce déplacement dépend de l'épaisseur de la plaque et de sa position par rapport à l'œil.

160. Examinez, dans la glace sans enduit, les images d'une ligne éclairée sur un fond noir, et observez comment l'intensité de l'image produite par réflexion sur la face postérieure du verre diminue notablement lorsqu'on mouille cette face avec de l'eau.

On prendra la fente disposée comme dans l'Exercice 148, dont celui-ci n'est qu'une continuation; seulement ici la face postérieure du verre est en contact, non plus avec de l'air, mais avec de l'eau. Or, c'est un fait d'expérience que les rayons de lumière passent d'autant plus facilement d'un milieu dans un autre qu'il y a moins de différence entre les conductibilités

optiques de ces milieux, ou entre les vitesses avec lesquelles la lumière s'y propage. Cette différence est très faible entre le verre et l'eau et elle n'est guère plus grande entre l'eau et l'air. Donc les rayons arrivant sur la face mouillée s'y réfléchiront en moindre proportion parce qu'il y en aura un plus grand nombre qui pourront passer du verre dans l'eau et ensuite de l'eau dans l'air.

161. Sur la paroi intérieure d'un verre plein d'eau, appliquez un carré de papier noir d'environ 10^{cm} de côté et portant, à 2^{cm} du fond, une fente triangulaire de 6^{mm} de large sur 10^{mm} de haut. Cherchez, à côté du vase et au-dessus du niveau de l'eau, dans quelle position il faut placer l'œil pour voir deux fois la fente. (V. la fig.)



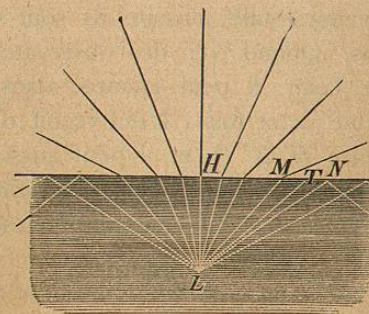
161.

Soit L un point de la fente; les deux faisceaux LMA , LNA peuvent parvenir de ce point à l'œil qui verra ainsi, dans la direction des rayons qui lui arrivent, une image en L^1 et une autre en L^2 .

Réflexion totale.

162. Les choses étant disposées comme dans l'Exercice 161, observez la réflexion totale. (V. la fig.)

Soit L un point lumineux envoyant des rayons en tous sens. Le rayon LH atteint suivant la normale la surface de séparation des deux milieux: il la traverse donc sans subir de déviation. Considérons une suite de rayons



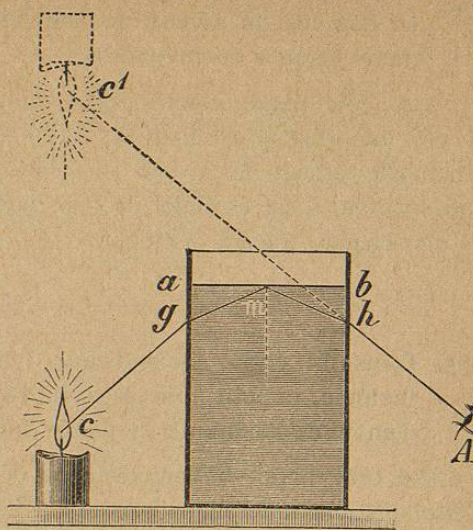
163.

qui s'écartent de plus en plus de LH , vers la droite par exemple. Les angles d'incidence de ces rayons vont sans cesse en augmentant, et comme les angles de réfraction doivent toujours être plus grands que les angles d'incidence, ils augmentent encore plus rapidement que ces derniers. Pour un rayon tel que LM , l'angle de réfraction est déjà voisin de 90° ; il atteint cette valeur limite pour un rayon tel que LT ; celui-ci reste donc, après sa réfraction, dans le plan qui sépare les deux milieux. Enfin, les rayons suivants, tels que LN , ne peuvent plus du tout pénétrer dans l'air; ils sont réfléchis, comme par un miroir, sur la surface qui sépare l'air de l'eau. C'est ce phénomène qu'on appelle *réflexion totale*. Il n'y a plus ici, comme dans nos plaques de verre, deux surfaces réfléchissantes, mais une seule: il ne se produit donc qu'une seule image. C'est pourquoi la réflexion totale nous fait voir un objet avec plus de netteté et de clarté qu'aucune autre réflexion.

Dans notre expérience, nous avons, au lieu du point lumineux L , la fente éclairée sur fond noir. Par suite, en regardant par en bas vers la surface de l'eau, exactement comme l'indique la figure 163, nous verrons la fente comme dans un miroir. — Dans les conditions de notre expérience, la fente ne doit pas se trouver trop bas dans l'eau: on retournera le papier de manière que la fente soit à 2^{cm} en dessous du niveau du liquide.

Quand l'œil de l'observateur se trouve en dessous du niveau de l'eau, il voit la fente deux fois, une fois directement et une seconde fois par réflexion totale. Dans le premier cas, les rayons venant de la fente n'éprouvent qu'une réfraction en entrant dans l'air; dans le second cas, les rayons éprouvent d'abord la réflexion totale, ensuite ils sont réfractés comme dans le premier cas. Quand l'œil de l'observateur se trouve au-dessus du niveau de l'eau, il peut encore, dans certaines circonstances, voir la fente deux fois. L'œil reçoit d'abord un des faisceaux compris entre H et T , et il peut aussi en recevoir sortant par la paroi latérale, comme dans l'Exercice 161. Dans les deux cas, les rayons sont seulement réfractés.

163. Derrière un vase rempli d'eau, placez une bougie allumée, la flamme à peu près à la même hauteur que le fond du vase; regardez d'en bas vers la surface de l'eau, et observez l'image produite par la réflexion totale. (V. la fig.)



L'œil voit, au-dessus du niveau de l'eau, l'image renversée de la flamme.

— Un faisceau lumineux partant d'un point c de l'objet rencontre le verre en g , se réfracte en entrant dans l'eau et arrive ainsi en m à la surface de séparation entre l'eau et l'air. Mais il y arrive sous une incidence si grande qu'il ne peut pénétrer dans l'air: il est renvoyé en h par réflexion totale. Là, il est de nouveau réfracté en entrant dans l'air et arrive enfin à l'œil. — Le point c émet encore bien d'autres faisceaux qui suivent un chemin analogue, mais tous ces faisceaux passent à côté de l'œil, sauf celui tracé sur la figure. Chaque point de la flamme envoyant à l'œil un faisceau semblable, l'observateur voit en c' , comme dans un miroir, l'image renversée de la flamme. (Nous avons négligé le passage des rayons à travers les parois du vase; ce passage ne peut produire qu'un léger déplacement des rayons parallèlement à eux-mêmes.)

164. Sur le bord de la table, placez un verre rempli d'eau; sur la paroi extérieure et du côté opposé à l'observateur, appliquez le papier noir avec la fente de l'Exercice 161. Observez cette fente par réflexion totale sur la surface de l'eau en tenant d'abord la fente aussi bas que possible

en dessous du niveau de l'eau et l'élevant ensuite lentement jusqu'à ce niveau.

La fente paraît comme un rectangle éclairé sur fond noir. Il est important de remarquer la position limite de la fente, lorsqu'elle atteint le niveau de l'eau. Pour bien comprendre l'observation, il est essentiel de faire une figure, simple d'ailleurs et que chacun tracera aisément.

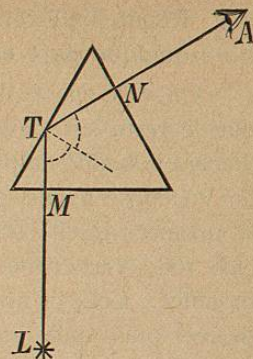
165. Dans un verre plein d'eau, tenez, dans une position inclinée, le petit tube à essais (du plongeur), et observez d'en haut l'éclat de la partie immergée.

Le tube paraît brillant comme s'il était plein de mercure. — Cette apparence s'explique par ce fait qu'aucun rayon rencontrant le verre sous un grand angle d'incidence ne peut pénétrer dans l'air du tube, mais que tous sont réfléchis vers le haut. L'éclat métallique du tube diminue d'une manière surprenante lorsqu'on tient un papier noir de manière à empêcher ces rayons d'entrer dans l'eau et d'arriver ainsi au tube.

166. Dans la disposition de l'Exercice 165, comment peut-on faire disparaître l'éclat métallique du tube autrement qu'en arrêtant les rayons obliques qui tombent sur le verre?

L'éclat métallique est produit par la réflexion totale d'un grand nombre de rayons à la surface de séparation entre le verre et l'air. Mais nous savons, par les explications de l'Exercice 160, qu'un rayon de lumière passe d'autant plus facilement d'un milieu dans un autre qu'il y a une moindre différence entre les conductibilités optiques des deux milieux. Si donc on peut mettre le verre en contact, non plus avec l'air, mais avec l'eau, un grand nombre des rayons qui se réfléchissaient pourra pénétrer dans l'intérieur du tube. C'est ce qu'on réalise aisément en versant de l'eau dans le tube. On voit alors disparaître l'éclat métallique pour la partie remplie d'eau.

167. Tenez droit devant l'œil une des faces du prisme, et observez les images produites par réflexion sur les deux autres faces, du côté intérieur. (V. la fig.)



Les images des objets situés à gauche et à droite paraissent à l'œil aussi claires et aussi brillantes que celles d'un miroir métallique. On observera de la même manière le ciel, la flamme d'une bougie, du papier de couleur, etc. On comparera surtout l'intensité de ces images avec celle des images que produisent ordinairement les miroirs de verre, par exemple une des faces extérieures du prisme. — Soit, dans la figure, L un point de l'objet. Le faisceau qui part de ce point et qui, arrivant à l'œil de l'observateur, lui fait voir le point L rencontre la surface du prisme en M , puis la face voisine en T . Mais il rencontre cette face sous un angle d'incidence si grand qu'il ne peut pas pénétrer dans l'autre milieu (l'air): il se réfléchit totalement vers N et arrive enfin à l'œil. L'observateur voit donc, d'après la figure, par réflexion totale sur la face du prisme, les objets situés à sa gauche.

167.

168. Appliquez sur l'une des faces du prisme une bande de papier coloré de même largeur, et observez dans quelle position du prisme le papier cesse d'être visible.

Le papier cesse d'être visible quand l'œil est placé, par rapport à la face correspondante de manière à voir dans cette face des images par réflexion totale (Exercice 167). On placera devant soi la bande de papier sur la table, le côté coloré en haut et le prisme par dessus. On trouve bientôt la position dans laquelle l'œil ne voit plus le papier. Voici l'explication de ce phénomène. De même que les rayons arrivant à l'œil ont été réfléchis sur la face inférieure du prisme, c'est-à-dire qu'ils n'ont pu sortir du verre, de même aucun rayon venant des points situés sous le prisme ne peut entrer dans celui-ci avec la direction qu'il devrait avoir pour parvenir jusqu'à l'œil. (Quand on place le prisme sur le papier, il reste toujours de l'air entre le papier et le verre.)

169. Répétez l'Exercice 168 en déposant une goutte d'eau quelque part entre le papier et la face du prisme.

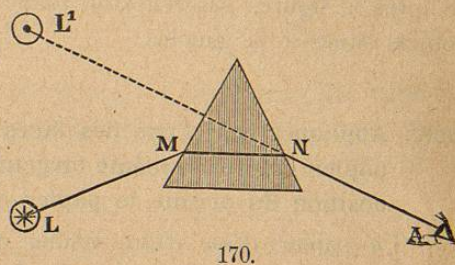
On voit encore le papier à la place mouillée, même après que le reste est devenu invisible par la réflexion totale. — On placera la bande de papier sur la table, comme dans l'Exercice 168, on y déposera une goutte d'eau, et on recouvrira le tout avec le prisme. L'œil, étant de nouveau placé comme dans l'Exercice 168, verra encore nettement le papier coloré à la place mouillée. Celle-ci ne disparaît que plus tard, lorsque l'œil ne se trouve plus qu'à une petite distance au-dessus de la table. — L'explication de ce phénomène repose sur le fait expliqué plus haut (Exercice 160), que les rayons de lumière passent plus facilement de l'eau dans l'air que du verre dans l'air. C'est pourquoi la place mouillée peut encore envoyer des rayons qui pénètrent dans le verre de manière à parvenir à l'œil.

Déviation des rayons par le prisme.

170. Considérez à travers le prisme la flamme d'une bougie. (V. la fig.)

Soit L un point de la flamme et A l'œil de l'observateur. Dans la position du prisme représentée ici, le rayon LM émané de l'objet arrive, après une première réfraction, en N , et après une deuxième, en A . Par suite, l'œil voit le point L dans la direction ANL' .

On tiendra le prisme verticalement devant l'œil; on placera la bougie à environ 1^m de distance, et on l'observera dans le prisme, en dirigeant le regard, non sur elle, mais un peu de côté, comme le montre la figure. Les bords de la flamme présentent des colorations qui seront expliquées plus tard. — Dans les commencements, il faut s'exercer un peu pour bien réussir cette expérience. On considérera ensuite dans le prisme un doigt placé à différentes distances.



171. Lisez à travers le prisme un manuscrit ou un imprimé.

Cette expérience présentera d'abord quelques difficultés, mais il ne faut pas pour cela y renoncer, car il est indispensable, pour les expériences ultérieures, de s'habituer à manier le prisme d'une manière sûre. On tiendra les arêtes du prisme parallèlement aux lignes de l'écriture. On dirigera le regard, non vers le papier, mais plus loin au-dessus. Si les caractères paraissent renversés, c'est qu'on les voit par réflexion simple sur une face extérieure du prisme ou bien par réflexion totale à l'intérieur. Quand l'expérience est bien faite, les caractères doivent paraître droits.

172. Considérez les barreaux d'une fenêtre à travers le prisme tenu verticalement.

On remarquera que les lignes verticales de l'objet paraissent courbées. Cela vient de ce que les rayons émis par les différents points de l'objet et arrivant ensuite à l'œil traversent le prisme dans des directions différentes. Les deux réfractions qu'ils éprouvent diffèrent donc d'une manière correspondante.

En Optique, on entend par *prisme* un corps transparent limité par deux plans faisant entre eux un certain angle. Cet angle se nomme *l'angle réfringent* ou simplement l'angle du prisme; la ligne suivant laquelle se coupent les deux faces s'appelle *l'arête* du prisme. Ainsi, dans la figure 170, l'arête est l'intersection des deux faces M et N . Quand on regarde, à travers le prisme tenu verticalement, les lignes verticales d'un objet, ces lignes paraissent courbées, et leur concavité est tournée du côté de l'arête. La courbure est d'autant plus forte que l'œil et le prisme se trouvent plus près de l'objet.

173. Considérez à travers le prisme la flamme d'une bougie, et déterminez, en faisant tourner le prisme, la position pour laquelle l'image de la flamme est le moins déviée.

On installera le prisme à un mètre environ de la flamme et à la même hauteur. Si l'on considère la flamme à travers le prisme en le faisant tourner lentement, on voit se mouvoir également l'image de la flamme. Cette image s'approche de l'objet (la flamme), puis elle s'en éloigne de nouveau. Il y a donc une position où elle est plus rapprochée de l'objet que dans toute

autre; c'est alors évidemment que les rayons partis de l'objet ont subi, en traversant le prisme, le moindre déplacement ou, comme l'on dit, la *déviatiou minimum*. On trouvera bientôt, par quelques tâtonnements, la position voulue. La loi qui détermine cette position est importante; en voici l'énoncé: Quand un rayon de lumière traversant un prisme éprouve la déviation minimum, l'angle d'entrée et l'angle de sortie (ou d'émergence) sont égaux.

174. Appliquez sur une feuille de papier noir une bande de papier rouge de 5^{mm} de large environ, et placez au-dessus un verre plein d'eau. Regardez à travers le prisme la bande colorée, et observez sa position lorsque le prisme se trouve d'abord dans l'air, puis plongé dans l'eau à moitié et enfin entièrement dans l'eau.

Quand le prisme plonge à moitié dans l'eau et qu'ainsi le liquide vient en contact avec l'une des faces réfringentes, l'image de la bande colorée se rapproche notablement de l'objet. Elle se trouve tout près de l'objet quand le prisme est entièrement dans l'eau. Voici comment s'explique ce phénomène. Quand le prisme est à moitié dans l'eau, un faisceau de rayons partant du papier pénètre immédiatement de l'eau dans le prisme. Il est donc alors moins dévié que s'il pénétrait de l'air dans le prisme (Exercice 153). Quant à la déviation que subit ce faisceau en sortant du prisme dans l'air, elle reste sensiblement la même que si le prisme entier était dans l'air. La déviation totale subie par ce rayon a donc diminué.

175. Sur le bord extérieur d'un verre rempli d'eau, appliquez une feuille de papier noir percée au milieu d'une ouverture carrée de 5^{mm} de côté; placez le verre au bord de la table, et essayez de voir le carré éclairé sur fond noir en regardant à travers la paroi latérale du verre, dans la partie en contact avec l'eau.

Pour que l'on puisse voir le carré à travers la paroi latérale du verre, il faut que les rayons de lumière traversent l'eau pour arriver à l'œil. Or ils sont réfractés à leur entrée dans l'eau et à leur sortie. L'eau dans le verre agit donc comme un prisme dont les faces formeraient un angle de 90°. Mais, un tel prisme agit d'une manière très défectueuse. S'il était en verre, aucun rayon ne pourrait le traverser: ils subiraient tous la réflexion totale

soit sur la première face du prisme soit, en tout cas, sur la seconde. (C'est pour cela qu'on ne peut rien voir à travers deux faces adjacentes d'un cube de verre.) De même, notre prisme d'eau arrête à peu près tous les rayons, et il faut beaucoup de précautions pour recevoir dans l'œil quelques-uns de ceux qui, partis de l'ouverture, réussissent à traverser l'eau. Il faut, pour voir le carré, couvrir de papier noir la paroi du verre située du côté de la lumière et regarder très obliquement vers le haut.

176. Placez sur la table un verre rempli d'eau jusqu'au bord; appliquez sur la paroi du verre une bande de papier coloré ou une ouverture en fente pratiquée dans du papier noir, et cherchez à voir ces objets à travers l'eau en tenant l'œil au-dessus du niveau du liquide.

En écartant autant que possible toute lumière étrangère, on peut encore voir le papier coloré ou la fente, même quand on tient ces objets assez bas en dessous du niveau de l'eau. Pour le reste, voyez les Exercices 175 et 164.

177. Placez sur la table un verre rempli d'eau jusqu'au bord; sur la paroi du verre et du côté opposé à l'observateur, appliquez une bande longue et étroite de papier de couleur mouillé. Regardez alors dans le verre obliquement et par en haut, observez la partie du papier que l'on voit à travers l'eau et celle qu'on voit directement en regardant à côté du verre, et comparez la position de ces deux parties.

La partie vue à travers l'eau envoie à l'œil des rayons qui ont subi une simple réfraction; elle paraît donc plus élevée que la partie vue directement. Si le papier n'était pas mouillé, on ne le verrait pas à travers l'eau, à moins de précautions spéciales (Exercice 176); l'eau dont le papier est humecté agit ici comme il a été expliqué aux Exercices 169 et 160.

178. Placez, d'abord sur le sol, puis sur la table, une bougie allumée, et tenez à la main un verre plein d'eau, verticalement au-dessus de la flamme, à une distance convenable. L'œil placé au-dessus et dans l'axe du verre aperçoit la flamme à travers l'eau. Eloignez

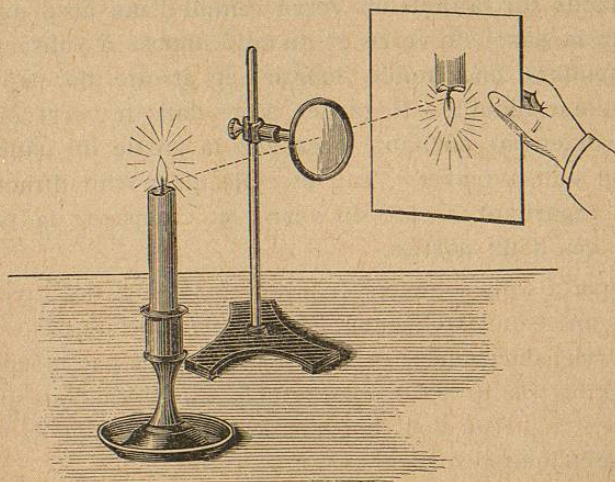
alors le verre de la bougie, et essayez de trouver une place où l'œil, placé de même dans l'axe du verre, puisse voir la flamme à travers la partie des parois qui est en contact avec l'eau.

On ne trouvera pas la place cherchée. La raison en a été exposée aux nos 176 et 177. — On renversera la disposition de l'expérience en examinant par en dessous la bougie placée au-dessus de l'eau.

La lentille.

179. Placez une bougie à 20^{cm} de distance devant la lentille et derrière celle-ci un écran à environ 18^{cm}: observez sur l'écran l'image de la flamme. (V. la fig.)

La figure indique la disposition exacte de l'expérience. Si l'écran est bien placé, on y voit l'image renversée de la flamme. Il n'est pas nécessaire, pour cette expérience, que la chambre soit obscure; il suffit que l'écran ne soit pas vivement éclairé par la lumière du jour.



179.

180. Projetez sur l'écran, d'après la disposition de l'Exercice 179, l'image du paysage situé devant la fenêtre.

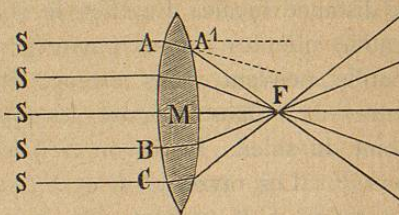
L'observateur se placera avec l'écran et la lentille dans le fond de la chambre et dirigera la lentille vers les objets situés

en face de la maison, bâtiments, arbres etc. Il tiendra l'écran à 9^{cm} environ derrière la lentille. — On projettera de même, par manière d'exercice, les images des objets situés dans la chambre. La distance de l'écran à la lentille dépend alors de la distance des objets à cette même lentille.

181. Observez plus exactement l'image du paysage projetée par la lentille sur l'écran blanc.

Si l'écran est placé de telle manière que les objets situés au premier plan apparaissent nets et distincts, les objets plus éloignés paraissent confus. La raison de ce fait sera donnée plus loin. (Exercice 201).

182. Projetez sur un écran blanc, d'après la disposition des Exercices précédents, une image du soleil. (V. la fig.)



182.

On installera la lentille de telle sorte que les rayons solaires tombent en plein sur

l'une des faces, et l'on tiendra l'écran à 9^{cm} environ derrière la lentille. On voit sur l'écran l'image du soleil, ronde en général, enveloppée de nuages si le ciel est couvert, et en forme de croissant pendant une éclipse partielle.

Cette expérience est bien connue, surtout par ce fait que le papier commence à brûler à la place où se forme l'image. C'est pour cela qu'on appelle cette place le *foyer* de la lentille; la distance de ce point à la lentille se nomme *distance focale*. Comme il a été dit plus haut, la distance focale de notre lentille est d'environ 9^{cm}.

Cette lentille est limitée par deux surfaces sphériques, bombées vers l'extérieur: c'est ce qu'on nomme une lentille *biconvexe*. Ces deux portions de sphère se touchent suivant un plan qui est la *section principale* de la lentille. Dans la figure, la droite *S M F* qui joint les centres des deux faces se nomme *l'axe principal*. Sur cet axe se trouve un point *M*, appelé *centre optique*, dont la position dépend de la nature du verre et de la courbure des faces. Quand celles-ci ont la même courbure,