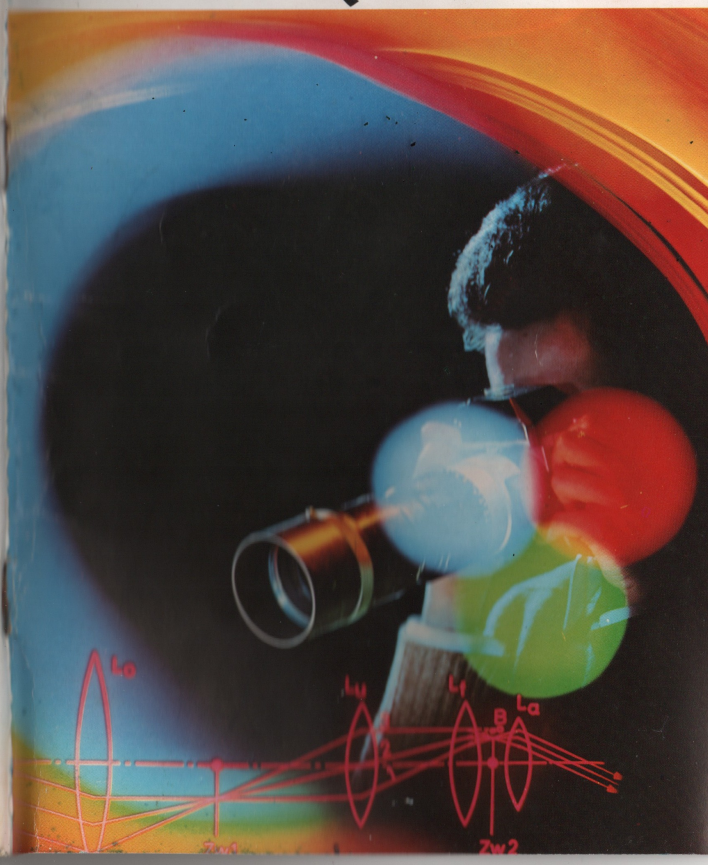


LES JOUETS SCIENTIFIQUES

existent dans les formules ci-dessous :

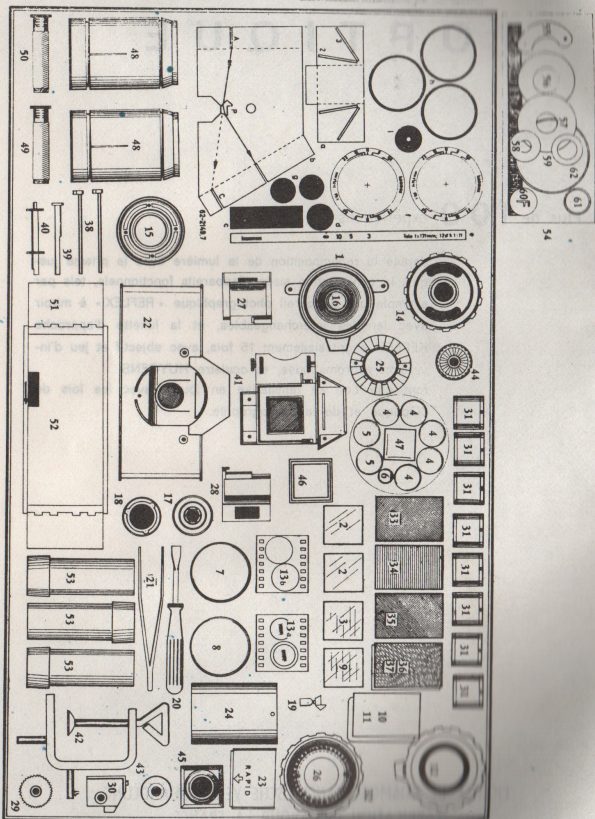
- MICROSCOPE
- OPTIQUE-ELECTRICITE (Leçon de choses)
- PHYSIQUE ET CHIMIE (Mon premier laboratoire)
- Sciences futures : CHIMIE
- Sciences futures : BIOLOGIE
- Sciences futures : ELECTRICITE
- Sciences futures : RADIO
- Sciences futures : OPTIQUE
- L'ETUDIANT CHIMISTE
- L'ETUDIANT EN BIOLOGIE
- L'ETUDIANT EN ELECTRICITE
- L'INGENIEUR CHIMISTE
- LE DOCTEUR EN BIOLOGIE
- L'INGENIEUR ELECTRICIEN
- LABORATOIRE PHYSIQUE-CHIMIE
- LABORATOIRE ELECTRONIQUE
- ORDINATRON 600

sciences futures
OPTIQUE



OPTIQUE

Jeu Scientifique



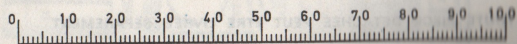
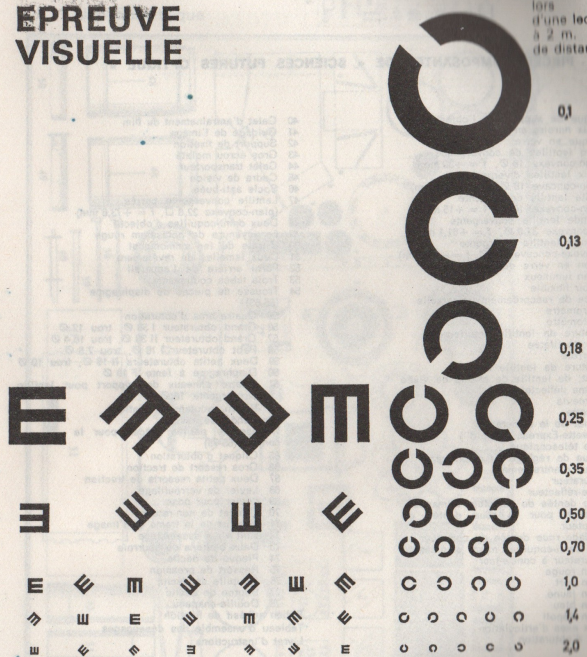
PIECES COMPOSANTES DE « SCIENCES FUTURES OPTIQUE »

- | | |
|---|---|
| 1 Bague de support de l'objectif | 40 Galet d'entraînement du film |
| 2 Deux miroirs en verre | 41 Guidage de l'image |
| 3 Plaque en verre | 42 Support de fixation |
| 4 Cinq lentilles de convergence
(plan-convexe 18 Ø, f = +30 mm) | 43 Gros écrou moleté |
| 5 Deux lentilles divergentes
(plan-concave 18 Ø, f = -43,9 mm) | 44 Galet transporteur |
| 6 Petite lentille convergente
(plan-convexe 10 Ø, f = +15 mm) | 45 Cadre de vision |
| 7 Grande lentille convergente
(bi-convexe 37,9 Ø, f = +61,1 mm) | 46 Socle anti-buée |
| 8 Grande lentille divergente
(convexe-concave 37,9 Ø, f = -112 mm) | 47 Lentille convergente carrée
(plan-convexe 22,8 Ø, f = +73,6 mm) |
| 9 Ecran en verre dépoli | 48 Deux demi-coquilles d'objectif |
| 10 Ecran lumineux | 49 Ferricyanure de potassium rouge |
| 11 Miroir flexible | 50 Citrate de fer ammoniacal |
| 12 Pièce de raccordement universelle | 51 Deux lamelles de revêtement |
| 13a Micromètre | 52 Paroi arrière de l'appareil |
| 13b Photomètre | 53 Trois tubes coulissants |
| 14 Monture de lentille antérieure | 54 Trousse de pièces de diaphragme
(55-63) |
| 15 Cuvette filetée | 55 Quatre arcs d'obturation |
| 16 Courroie | 56 Grand obturateur 138 Ø, trou 12 Ø |
| 17 Monture de lentille oculaire | 57 Grand obturateur 118 Ø, trou 16,4 Ø |
| 18 Mont. de lentille de champ de visée | 58 Petit obturateur 118 Ø, trou 7,5 Ø |
| 19 Prisme défecteur | 59 Deux petits obturateurs 118 Ø, trou 10 Ø |
| 20 Tournevis | 60 Diaphragme à fente F 18 Ø |
| 21 Pincette | 61 *Quatre anneaux de support pour lentille
convexe 18 Ø |
| 22 Solier de la camera | 62 Ruban caoutchouc élastique |
| 23 Cassette-Express ("Rapid") | 63 Bande de feutre |
| 24 Tube télescopique | 64 Trousse de petites pièces pour la
camera (65-78) |
| 25 Bague de réglage du diaphragme | 65 Cliquet d'obturation |
| 26 Bague d'entraînement | 66 Gros ressort de traction |
| 27 Obturateur | 67 Deux petits ressorts de traction |
| 28 Porte-reflecteur | 68 Levier de verrouillage |
| 29 Roue dentée du compteur d'images | 69 Levier pour pose |
| 30 Guidage pour la roue dentée du
compteur | 70 Cliquet de non-retour |
| 31 Guidage roue dentée du compteur | 71 Ressort de la trame de l'image |
| 32 Obturateur à contre-jour | 72 Huit vis d'assemblage |
| 33 Ecran rouge | 73 Deux boutons de courroie |
| 34 Ecran vert | 74 Plaque de dé clic |
| 35 Ecran jaune | 75 Ressort de pression |
| 36 Ecran bleu | 76 Goupille de dé clic |
| 37 Ecran dépoli | 77 Bouton de dé clic |
| 38 Deux axes d'articulation | 78 Douille-chapeau |
| 39 Tige d'obturation | Ruban adhésif de fixation |
| | Tableau d'ensemble des découpages |
| | Livret d'instructions |

TOUTE PIECE DETACHEE PEUT ETRE LIVREE SEPAREMENT

EPREUVE VISUELLE

Acuté de la vision lors d'une lecture à 2 m. de distance



Franch'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart 1009. Tous droits réservés, particulièrement ceux de traduction.

© by Franch'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart 1009. Fabrication Gâgé pour la France (licence de KOSMOS, Franch'sche Verlagshandlung, Stuttgart). Tous droits réservés. Traduction française G. Gauthey, Elaboré par le laboratoire de recherches Optiques. Éditeur du livret Ing. P. Schöne. Dessins d'Eric Haferkorn, F. Nebelostny et G. Weber. Impression spéciale Gâgé. Dépôt légal n° 4007. Deuxième Trimestre 1970

1. Comment atteint-on sûrement son but ?

Dix lentilles rondes et une lentille carrée contenues dans trois boîtes de protection rondes, le prisme défecteur et les réflecteurs, ce sont là les premiers accessoires qui apparaissent devant tes yeux à l'instant où tu ouvres le couvercle. Tu aperçois ensuite les nombreuses pièces de l'appareil photographique et de la lunette d'approche, de même que les petites tablettes de verre, avec leurs substances chimiques pour la confection du papier photographique. Puis, sous la paroi arrière, tu découvres finalement les deux tiroirs contenant les petits arcs d'obturation destinés au diaphragme à iris réglable, et les ressorts de traction pour l'obturateur (ressorts que tu ne dois pas étirer, sinon ils perdraient leur force de traction calculée avec précision). Sans doute désirerais-tu commencer immédiatement les essais mentionnés tout au long de ton guide de manipulation, et t'imagines-tu déjà — à la contemplation des croquis — quel aspect peut avoir l'appareil terminé. Peut-être trouves-tu que tout cela ne va pas assez vite et voudrais-tu qu'il soit terminé dès ce soir.



Naturellement ce n'est pas ainsi que tu atteindras le but ! dans un tel état d'esprit, les essais ne t'apporteraient pas un résultat satisfaisant ! en vérité, tu n'aurais alors qu'une faible idée de la destination des nombreuses pièces détachées, et tu comprendrais mal de quelle façon fonctionnent les différents appareils que tu peux construire avec ton coffret d'optique. Ainsi t'étonnerais-tu peut-être de devoir contempler des images ratées, et ne te rendrais-tu absolument pas compte que — par exemple — tu n'aurais pas monté correctement le diaphragme de l'appareil. Car celui-là seul qui a pris connaissance des essais décrits antérieurement a acquis l'expérience des points auxquels on doit vouer toute son attention pour les essais ultérieurs.

Et c'est précisément parce que tu expérimentes par toi-même comment fonctionnent exactement ces appareils et que tu es à même d'en faire la démonstration à ton ami en employant les termes techniques adéquats, que ton coffret d'optique se situe au rang d'un coffret d'expérimentations intéressantes, le distinguant nettement des collections de construction offertes couramment sur le marché. Si tu observes bien le processus des essais, dans l'ordre prescrit, tu auras encore un avantage supplémentaire : à savoir qu'un cas ne peut pas se présenter où, par inexpérience, tu détriorerais une pièce, pour la bonne raison que, dès le début, tu apprends techniquement la manière appropriée de manipuler toutes les pièces. Les pièces suivantes sont particulièrement délicates : verres dépolis 9 et dispositifs 13a et 13b. Leur face émulsionnée ne doit jamais être saisie avec les mains, car elle ne peut pas être nettoyée des taches de graisse. Et quant aux lentilles, tu ne dois les prendre que sur le bord et veiller à ce que leur surface ne soit pas égratignée.

Si vraiment il t'arrivait de laisser tomber une lentille, alors tu peux consulter le dernier chapitre de ce livret au paragraphe « Nettoyage des lentilles du coffret OPTIQUE » pour connaître ce que tu as à faire dans ce cas. Dans ce dernier chapitre il est également décrit comment tu peux préparer un pinceau fin ordinaire, que tu possèdes

certainement dans ta boîte de peinture, de telle manière qu'il puisse servir pour dépoussiérer les lentilles.

En aucun cas tu ne dois essuyer ou frotter les lentilles à l'aide d'un linge, avec les doigts ou avec la paume de la main. La poussière que tu aurais l'intention d'essuyer ainsi occasionnerait de fines égratignures sur le poli des surfaces et une mince couche de graisse tout d'abord invisible pourrait, avec le temps, ternir la surface des lentilles.

En vérité la propreté en optique est bien le premier des commandements. Ce n'est pas sans raison que les grands laboratoires des fabriques d'articles pour l'optique possèdent à l'entrée un local qui fait office de sas à poussière.

Dans ces laboratoires les opérateurs sont habillés de blouses et changent même de chaussures, afin que la poussière des routes ne soit pas introduite dans les locaux. Et, lors de travaux particulièrement délicats, on met de fins gants blancs et on se coiffe d'une casquette blanche.

Ceci dit, tu n'as pas besoin, cela va de soi, de t'installer d'une manière aussi cérémonieuse. Mais il n'y aurait aucun inconvénient, lorsque tu travailles avec de la colle ou si tu as des mains grasses, à ce que tu ailles tout d'abord te laver les mains avant de poursuivre tes expériences. Tout véritable opticien expérimentant à l'aide de prismes, lentilles, réflecteurs et verres, comme tu veux le faire toi-même maintenant, trouve la récompense de sa propreté en obtenant des images nettes qu'il peut voir à travers les lentilles de ses appareils tenues propres avec beaucoup de soins.

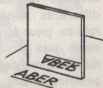
2. Images reflétées par miroir

Si tu places un miroir de verre 2 entre deux lignes du présent texte, tu constateras que les lignes sont à l'envers dans le miroir. En réalité un miroir intervertit devant et derrière : des objets, qui, en fait, sont situés devant, donc tournés vers toi comme la ligne sur laquelle est écrit le mot ABER, apparaissent retournés dans le miroir, donc à l'arrière-plan.

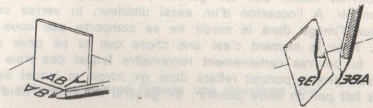
Peut-on voir à nouveau les lettres en bonne position si tu places le miroir entre les lignes d'un texte mis à l'envers ? Si tu procèdes à cet essai en retournant le livre, on pourra voir que les lettres sont à nouveau à l'endroit dans le miroir, c'est un fait. Mais, étant donné que, par le renversement du livre, le commencement des lignes se situe maintenant à droite, les mots sont alors à lire de droite à gauche.

Non seulement les mots, mais aussi les différentes lettres sont reproduites renversées, et ce, parce que le miroir reproduit des objets toujours sur la face à laquelle ils sont opposés. Au sujet de pareilles reproductions renversées, on dit qu'elles sont représentées par image reflétée.

Tu obtiendras également une écriture renversée, si tu places de nouveau le livre correctement devant toi et disposes le miroir latéralement sur le bord du texte. Alors, et si le miroir est situé au bord droit du texte, des lettres situées loin devant le miroir, donc à gauche, apparaissent à l'arrière, donc loin à droite sur l'image du miroir. Etant donné que le miroir est placé latéralement, il se produit de la permutation avant et arrière une permutation gauche et droite, et nous obtenons de cette manière une écriture reflétée que l'on nomme écriture renversée. Si tu veux voir comment un miroir permute avant et arrière, place donc le miroir devant



toi et tire un trait avec le crayon, trait partant de toi (donc vers l'arrière) et en direction du miroir. Dans le miroir tu verras un crayon qui vient de l'arrière dans ta direction.



Si tu dessines un V devant le miroir il se reflète dans le miroir tel un A incomplet. Essaie donc d'écrire le mot ABER de telle façon qu'il soit correctement lisible comme sur le croquis de gauche dans le miroir arrière de ce croquis. Tu constateras que pour ce faire tu dois l'écrire en écriture renversée. Il est un peu plus facile de faire l'écriture renversée (voir croquis de droite à la page précédente en bas) si tu tiens le miroir avec la main gauche et de biais par rapport à la ligne (au début de la ligne) et si tu écris en partant de la droite en direction du miroir.

3. Une étonnante écriture secrète

Si tu places le miroir entre les lignes d'un texte manuscrit disposé à l'envers, dans ce cas tu ne pourras plus lire l'écriture dans le miroir, même si tu sais qu'il s'agit d'une écriture renversée. Ce fait a déjà été reconnu et exploité il y a cinq siècles environ par de nombreux savants, comme par exemple par Léonard de Vinci, le physicien et peintre réputé ; ces savants désiraient transcrire le résultat de leurs recherches de telle manière que leurs découvertes ne puissent pas être lues par n'importe qui.

Toi aussi tu peux écrire à ton ami en une pareille écriture secrète. Naturellement, tu objecteras qu'il serait très pénible, voire totalement impossible, d'exécuter une écriture renversée à la main. Eh bien ! maintenant je vais te confier un truc, à savoir comment tu peux sans miroir faire un texte manuscrit en écriture renversée, et cela bien que tu l'aies écrit en écriture normale. Tu poses simplement, devant toi sur la table, le carbone vers le haut, une feuille de papier carbone que l'on trouve dans toutes les librairies pour l'exécution des copies de lettres, et tu disposes là-dessus deux minces feuilles de papier à écrire. Sur la feuille de dessus tu écris alors de façon tout à fait normale un texte au crayon ou au stylo. Au verso de la feuille de dessous tu trouveras alors ta lettre écrite en écriture renversée.

Quant à ton ami qui veut lire la lettre, il n'aura qu'à la placer devant lui à l'envers et disposer un miroir derrière les lignes. S'il possède un grand miroir, il peut aussi se placer devant pour la lecture. Puis il doit tenir la lettre devant sa poitrine et de telle manière que le texte soit tourné vers le miroir.

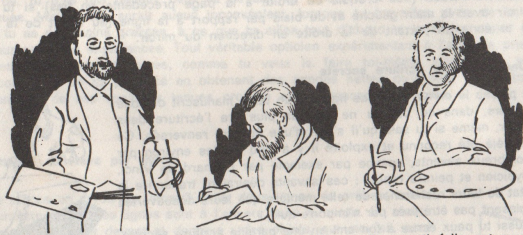


4. Autoportrait ou non ?

Si tu te tiens devant un miroir et que tu frottes ton œil droit avec la main droite, que fait ton image dans le miroir ? Elle se frotte naturellement l'œil qui est situé en

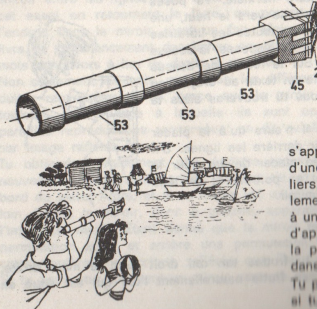
face de ton œil droit exactement. Si ce n'était pas une image reflétée dans un miroir, mais bien une vraie personne qui te fasse vis-à-vis derrière une plaque de verre, alors cette personne devrait frotter son œil gauche pour avoir la même attitude que ton image dans le miroir. A l'occasion d'un essai ultérieur, tu verras comment on doit procéder pour que l'image dans le miroir ne se comporte pas sous la forme d'une image renversée. Pour le moment c'est une chose que tu ne peux guère t'imaginer. Mais par contre tu pourras certainement reconnaître lequel des trois hommes sur le croquis a peint son propre portrait reflété dans un miroir et lequel des trois hommes a eu son portrait fait par un autre peintre ; en général un peintre tient bien le pinceau dans la main droite.

Mais que fait-on si possible lorsque le peintre est un gaucher ? C'est très simple : si l'on peut voir des boutons ou des boutonniers sur une chemise, un paletot ou un manteau, on peut en conclure s'il s'agit — d'après leur disposition — d'une image reflétée par miroir ou non. Le peintre à l'extrême gauche sur notre croquis a peint son



autoportrait, il est droitier. La petite poche de sa blouse de travail (elle est soulignée seulement par un trait) est située réellement à gauche, il s'agit donc d'une image renversée.

5. Voir dans le coin sans se faire remarquer



Un détective, qui a été informé d'un projet de cambriolage dans le garage de l'hôtel du Lac et qui veut en capturer les auteurs, ne peut pas, cela va de soi, se placer devant le garage et observer la porte tout simplement. Dans ce cas les cambrioleurs auraient des doutes et remettraient l'effraction à un autre jour.

Mais si quelqu'un à l'écart du garage s'applique à regarder vers la pleine mer à l'aide d'une lunette d'approche et contemple des voiliers, alors les cambrioleurs se croient totalement inobservés. Ils ne savent pas que, grâce à un miroir réflecteur disposé devant la lunette d'approche, les rayons lumineux provenant de la porte du garage sont réfléchis exactement dans l'œil du détective.

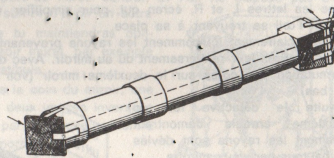
Tu peux construire une telle lunette d'approche si tu enfilas l'un dans l'autre les 3 tubes cou-

lissants 53 et les disposes devant le cadre de vision 45, ce dernier fonctionnant cette fois pour ainsi dire comme « cadre de visée ». Sur ce dernier tu fixeras un réflecteur en verre 2 à l'aide de trois morceaux de ruban adhésif de chacun 3 cm de long, comme on peut le voir sur le croquis.

6. Un deuxième réflecteur inverse l'image une deuxième fois

Dans le cas où quelqu'un disposerait une affiche à la porte du garage que le détective du chapitre précédent observe à travers sa lunette à « déflexion », ce détective se trouverait de toute façon en difficulté. Son miroir ne montre l'affiche qu'en écriture renversée seulement. Mais un vrai détective sait se tirer d'affaire. Il prendra simplement un deuxième réflecteur, dans lequel il contempera l'image reflétée du premier réflecteur ; car les faces inversées par la première réflexion se trouvent inversées une nouvelle fois par la deuxième réflexion, et ainsi l'image doit apparaître à nouveau en position normale.

Notre détective pose, par conséquent, un deuxième réflecteur 2 à l'entrée de sa lunette, comme on peut le voir sur le croquis. Cette lunette à « double réflecteur » comporte même l'avantage qu'il peut tourner le dos à l'objet à observer. D'ailleurs, pour l'observation, il doit de toute façon tenir la lunette de biais devant son visage.



7. Un résultat inattendu

Quelque chose que l'on ne voit naturellement pas tous les jours et qui passe encore beaucoup moins inaperçu : c'est quelqu'un qui lorgne avec une lunette placée de biais devant son visage. C'est pourquoi le détective en vient à penser qu'il devrait tenir la lunette verticalement et en hauteur et regarder sur le réflecteur inférieur, de sorte qu'il aurait la possibilité d'observer les environs derrière lui et par-dessus sa tête. Avec une telle manière de tenir sa lunette, le détective — du moins le croit-il — va pouvoir se placer derrière un mur et on ne le verra lui-même plus du tout.

Mais que se passe-t-il ? Maintenant tout est à nouveau à l'envers !



8. Comment sont déviés les rayons ?

Le détective se fait un petit croquis qui doit lui démontrer comment les rayons lumineux sont déviés latéralement par les réflecteurs.

Tout d'abord il dessine sur la gauche la façon dont un seul miroir diffracte vers la droite et renvoie par l'arrière sur un écran la lumière provenant du tableau avec les lettres L et R, écran qui, pour simplifier, montre ici et vu de l'avant ce que verrait l'œil se trouvant à sa place.

On voit clairement ici comment les rayons provenant de L et R se croisent et changent de côté après leur renversement dû au miroir. Avec deux miroirs se produit une deuxième permutation des côtés sur le deuxième miroir (voir croquis de droite page précédente en bas).

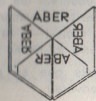
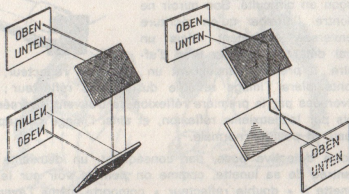
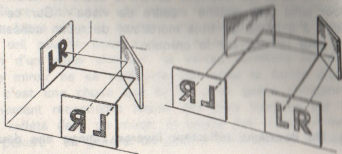
Ensuite le détective fait un deuxième croquis démontrant comment les rayons sont déviés en hauteur par deux miroirs.

A gauche on constate aisément comment il se fait que la lunette-lorgnette utilisée par le détective (chapitre 7) donne des images renversées si on tient la position verticale. A droite, on se rend compte quelles idées le détective avait en tête afin d'améliorer sa lorgnette, pour que la lumière soit déviée tel que c'est le cas par exemple dans le périscope d'un sous-marin.

Maintenant, après avoir retourné dans un autre sens le miroir inférieur, le détective a réellement la possibilité de faire ses observations par-dessus un mur sans qu'on puisse l'apercevoir lui-même ; et il peut également, du milieu d'une foule regardant un match de football, observer par-dessus la tête du premier rang des spectateurs. En effet, un tel périscope montre des images normales même dans une position penchée latéralement.

9. Miroir à équerre

Deux miroirs, qui sont poussés l'un vers l'autre assez près pour que leurs bords se touchent, alors qu'ils se situent obliquement l'un par rapport à l'autre, sont désignés sous le terme de miroir à équerre (ou miroir angulaire). Dans chacun des deux miroirs tu vois l'image reflétée de l'autre et naturellement aussi l'image inversée de tous les objets qui se reflètent dans l'autre miroir. Place donc le miroir à équerre derrière le mot ABER, écrit en lettres d'imprimerie, mais qui est disposé à l'envers. Ceci fait, tu vois tout d'abord à droite et à gauche le mot ABER en écriture inversée, alors qu'en face tu le vois par la fin du mot sur le miroir de gauche et par le commencement du mot sur le miroir de droite. Dans le milieu tu vois les



miroirs se reflétant, dans lesquels se reflètent les deux images inversées du mot. Il est étonnant que ces images inversées et reflétées se complètent en un mot ABER normal en bonne position si tu ajustes exactement les miroirs.

10. L'image du miroir en sens inverse

Si vous possédez à la maison une coiffeuse comportant un miroir triple et que les miroirs des côtés sont orientables, tu peux alors placer un des miroirs latéraux dans une position exactement oblique par rapport au miroir central. Si l'on ne dispose pas d'un miroir de coiffeuse à multi-glaces, il suffira d'avoir un autre miroir, le plus grand possible, que tu maintiendras obliquement par rapport à tout autre miroir mural, par exemple dans la salle de bains ou dans le vestibule.

Là aussi tu verras, en regardant dans le coin du miroir, une image réfléchie, qui se compose des deux images inversées reflétées, réunies entre elles, et qui, par conséquent, montre que tout est à nouveau en position normale.

Si maintenant tu lèves la main droite tenant un peigne, « l'image inversée reflétée » ne lèvera pas la main vis-à-vis, mais bien la main qui fait face à ta main gauche, et justement comme si tu n'avais pas en face de toi une image reflétée-inversée, mais au contraire une personne vivante qui lève la main droite comme tu le fais... Tu te vois maintenant tel que les autres personnes te voient. Un miroir à équerre représente par conséquent la solution à l'énigme du chapitre 4.



11. Un œil qui te regarde constamment.

Tout miroir à équerre, de même que celui que tu peux assembler à l'aide de deux réflecteurs en verre 2, possède une particularité : si, avec un œil, tu regardes le point de contact de deux miroirs, le reflet sera toujours tel qu'il te regardera, que ton regard soit indifféremment dirigé dans le miroir à équerre par l'avant ou par le côté.

Naturellement, en l'occurrence, les miroirs doivent être ajustés très exactement en position oblique l'un par rapport à l'autre. Mais cela n'est pas difficile : tu n'as qu'à les tenir seulement de telle façon que le bord de contact passe exactement à travers l'image reflétée de la pupille de l'œil, et que chacun des deux miroirs dessine une moitié de l'œil, de sorte que tu vois l'œil entier. Si tu tiens bien fixement les miroirs dans cette position, tu peux alors remuer la tête de-ci, de-là latéralement ; la pupille se maintiendra toujours derrière le bord de contact des miroirs. Tu désires savoir comment cela se fait ? Très simplement : un miroir à équerre renvoie chaque rayon de lumière capté, exactement dans la direction d'où vient le rayon, pour autant qu'il n'arrive pas de biais soit par en haut, soit par en bas mais qu'il parvienne bien horizontalement. Les deux prochains chapitres te démontreront pourquoi il en est ainsi.



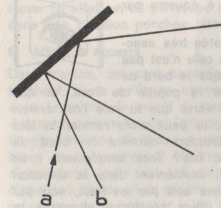
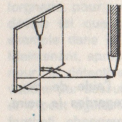
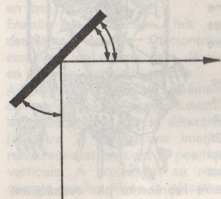
12. Comment la lumière est réfléchi par un miroir

Nous savons depuis longtemps déjà qu'un miroir réfléchit les rayons lumineux. Mais nous voulons savoir comment, donc dans quel sens cela se produit. Si tu tires un trait avec une règle, et que tu places un miroir obliquement au-dessus, le trait dans le miroir paraît se poursuivre vers l'arrière. Sitôt que tu tournes le miroir quelque peu de côté, le trait se rompt au moment du passage dans l'image reflétée, et tu le vois dans le miroir se développer dans une autre direction.

Place donc un miroir exactement sur le trait large et noir du croquis ci-après. Il est remarquable que les lignes se dirigeant obliquement sur le miroir se continuent sans rupture vers l'arrière dans l'image reflétée !

En commençant près du miroir, repasse avec un crayon sur la ligne qui se termine par une flèche et jusqu'à la pointe de la flèche !

Si, ce faisant, tu regardes suffisamment de biais dans le miroir, afin que la ligne fléchée apparaisse dans le miroir comme la continuation en ligne droite de la ligne aboutissant



la trajectoire du rayon est réversible : tu vois la ligne dessinée en tant que rayon d'inci-

dent au miroir, tu constateras alors de quelle façon le crayon poursuit — dans le miroir — cette ligne vers l'arrière. Le mouvement que le crayon opère en réalité pour continuer en ligne droite, dans l'image reflétée, le « rayon lumineux entrant » montre dans quelle direction le rayon lumineux, réfléchi obliquement, par le miroir, se dirige réellement.

Tu vois donc qu'une ligne se dirigeant sur le miroir se continue toujours en ligne droite dans l'image reflétée, si la ligne réelle reflétée de ce fait forme un angle avec la surface du miroir (deux fois double flèche), cet angle étant aussi grand que l'angle que forme la ligne fléchée s'éloignant du miroir, avec la surface du miroir (simple double flèche). Un ballon de football, tiré obliquement contre une paroi, rebondit lui aussi de l'autre côté et sous le même angle sous lequel il est arrivé sur la paroi par le côté opposé.

La loi régissant que ces deux angles sont égaux est encore exposée plus en détail au chapitre 33. Elle est valable pour tout rayon lumineux renvoyé par une surface réfléchissante (les scientifiques disent : qu'il est réfléchi ou reflété) et que le rayon — comme

sur le croquis suivant — se présente à plat (a) ou sous un grand angle (b). S'il arrivait exactement de l'avant il serait alors renvoyé sous sa propre trajectoire.

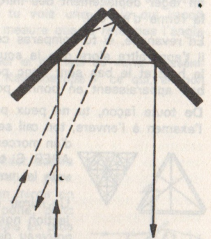
Si tu places le miroir sur ce croquis également, tu remarqueras comment chacune des lignes se continue en ligne droite dans l'image reflétée, et ce, indifféremment le long de quelque ligne que tu regardes. Tu peux suivre quelle est la ligne toujours reflétée comme continuation en ligne droite, si tu fais courir le crayon le long de différentes lignes.

A cette occasion, tu remarqueras également que

dence aussi nettement comme prolongement du rayon de déflexion dans l'image reflétée, si tu regardes « en arrière » dans le miroir tout au long du rayon de déflexion.

13. Lorsque la lumière tombe dans le miroir à équerre.

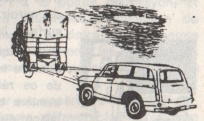
Sur le croquis ci-contre tu peux voir comment les rayons lumineux tombant dans un miroir à équerre le quittent exactement dans la direction d'où ils sont venus. Lorsque les rayons tombent obliquement, l'angle qu'ils forment avec la première surface du miroir est faible, et celui qu'ils forment avec la deuxième surface du miroir est grand (sur le croquis, rayon dessiné en tirets). Les angles au premier miroir deviennent plus grands et au deuxième plus faibles lorsque le rayon arrive plus par l'avant. Lorsqu'un rayon arrive très exactement de l'avant, les quatre angles sont de grandeur égale (rayon en traits pleins).



14. Un réflecteur-laser sur la lune.

Un réflecteur doit renvoyer la lumière qu'il reçoit, par exemple celle d'un phare d'automobile, dans la direction d'où elle vient. Le conducteur de l'auto — vu du réflecteur — étant assis directement derrière les phares, la lumière reflétée parvient alors bien à ses yeux également, et c'est cela qui doit être obtenu.

Le miroir à équerre du chapitre 11 conviendrait-il bien en tant que réflecteur ? En fin de compte il renvoie bien le rayon lumineux dans la direction par laquelle il l'a capté, ainsi que tu l'as appris au chapitre 13. Si tu diriges le miroir à équerre sur ton ami, qui, lui, éclaire dans ta direction avec une lampe de poche, tu remarqueras alors très vite que ton miroir à équerre ne doit pas être très exactement ajusté latéralement, mais que toutefois il n'opère que si son inclinaison concorde bien avec la hauteur à laquelle se tient ton ami.



Si tu tournes le miroir à équerre de telle manière que les deux miroirs soient disposés l'un sur l'autre, dans ce cas une différence de hauteur dans la position de ton ami serait sans importance, mais par contre il ne pourrait voir les rayons reflétés que si la direction concorde très exactement.

Le mieux serait de transformer le miroir à équerre de telle façon qu'il possède les caractéristiques d'un tel miroir mais en même temps avec des miroirs disposés l'un à côté de l'autre et l'un sur l'autre. Ceci peut en réalité être obtenu si on le munit d'une surface réfléchissante. Pour ce faire, tu le places simplement sur le miroir flexible 11.

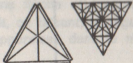
Une telle combinaison de miroirs, se composant de trois miroirs placés verticalement l'un sur l'autre, est appelée triple miroir. Qu'un tel triple miroir renvoie tous les rayons qui le frappent, obliquement, soit de l'avant, soit dans la direction dont ils sont venus, tu peux en faire une nouvelle preuve par le « test visuel » : si ton regard se porte dans le triple miroir, de manière que la pupille de l'œil paraisse être placée en arrière du coin où les trois miroirs se rencontrent, tu peux faire mouvoir ta tête de-ci, de-là et de haut en bas, néanmoins l'œil reste toujours dans le coin. Tu peux à nouveau



tirer profit de ce phénomène pour l'ajustage des miroirs. Peu avant qu'ils concordent exactement tu aperçois six yeux en couronne et disposés autour du point central ; après un léger déplacement des miroirs l'un contre l'autre, le tout se trouve alors réuni sous la forme d'un œil.

En revanche, si tu compares cette image de l'œil avec celle du simple miroir à équerre, il t'apparaîtra alors que le sourcil se trouve en dessous de l'œil. Dans le triple miroir le haut et le bas sont donc permutés. Si tu observes l'image à l'envers, le haut et le bas apparaissent en bonne position, mais ce sont alors les côtés qui sont permutés.

De toute façon, tu ne peux pas faire cette observation avec l'œil, car, au moment de l'examen à l'envers, ton œil serait également renversé. Cela ne peut se faire qu'à l'aide d'un morceau de papier sur le coin duquel tu écris par exemple le mot ABER. Si tu le tiens à l'envers tout près de l'œil et le fais miroiter, tu vois le mot ABER en écriture renversée.



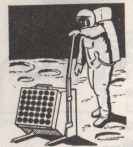
Un miroir réfléchissant en sens inverse et deux miroirs donnant une projection normale, il n'est pas surprenant que trois miroirs donnent de nouveaux des images renversées.

Pour l'utilisation comme réflecteur il est alors indifférent que les rayons lumineux soient renvoyés à l'envers.

Si tu veux bien observer attentivement un réflecteur, tu t'apercevras qu'il est fait d'une quantité de petites cellules miroitantes triangulaires.

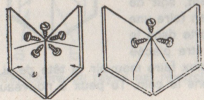
Chacune de ces unités n'est rien d'autre qu'un triple miroir fait de trois faces de miroir triangulaires combinées. Très souvent les surfaces de miroir ne sont pas accessibles, car elles se situent derrière une surface lisse et transparente de verre ou de matière synthétique.

Sais-tu que, le 21 juillet 1969, les Astronautes ont déposé et laissé derrière eux un Réflecteur-Laser sur la Lune ? Les éléments sphériques de ce réflecteur en verre sont rectifiés sur leur face arrière de telle manière qu'ils font l'office d'un triple miroir et réfléchissent avec précision sur la Terre les rayons Laser que cette dernière leur envoie, même si le réflecteur ne se trouve pas dans une position absolument droite. La raison pour laquelle on utilise ici la lumière laser s'explique par sa capacité particulièrement aiguë à se concentrer (focalisation) ; et c'est pourquoi elle peut parcourir presque sans pertes le chemin de la Terre à la Lune et retour.

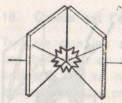


15. Un W se transforme en étoile

Si tu places encore une fois ensemble les deux réflecteurs en verre pour en faire un simple miroir à équerre, comme tu l'as appris au chapitre 9, tu peux poser entre eux une vis d'assemblage 72. Elle se reflétera alors trois fois, de sorte qu'au total on pourra voir quatre vis d'assemblage disposées en couronne. Si tu agrandis l'angle que les deux miroirs forment ensemble, tu verras seulement trois vis : la vis elle-même et deux images de vis reflétées.



Si par contre tu réduis l'angle, alors apparaîtront encore plus de vis et toujours de nouveau en images inversées,



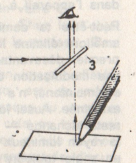
et il en résulte un magnifique dessin. Mets bien la vis de côté, tu en auras encore besoin ultérieurement.

A la place de la vis posée entre les miroirs, dessine donc la lettre W et pousse-la dans le coin des miroirs de telle manière que ses deux extrémités touchent les miroirs. Alors tu vois une étoile qui reçoit toujours plus de dentelures au fur et à mesure que tu refermes l'angle formé par les deux miroirs.

L'appareil, par lequel des images reflétées de bouts de papier et d'éclats de verre s'assemblent de cette façon pour donner des dessins, se nomme « Kalaïdoscope », ce qui, en bon français, ne signifie rien d'autre que « belle lognette » !

16. Comment construit-on un appareil à dessiner ?

Si tu te places devant la fenêtre et si tu regardes d'en haut sur la plaque de verre 3 inclinée de biais par rapport à la fenêtre, tu peux voir tout ce qui se passe devant la fenêtre, comme dans un miroir en sens inverse. La plaque de verre comporte une surface polie, donc lisse, et reflète par conséquent tous les rayons lumineux. Mais en plus elle est aussi transparente, de sorte que les rayons lumineux de la feuille de papier reposant sous la plaque peuvent aussi atteindre ton œil. Si tu tiens la plaque de verre tout près de l'œil, tu devrais positivement pouvoir reproduire en bas sur le papier les contours des objets qui se reflètent en haut dans la plaque de verre. Mais tu remarqueras vite que, pour trois raisons, cela ne pourra pas bien réussir.

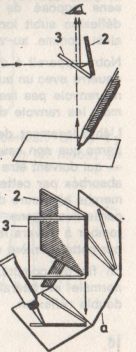


Premièrement, les images reflétées se décalent par rapport à la pointe du crayon, et cela déjà lorsque tu modifies, ne serait-ce que très peu seulement, l'inclinaison du miroir. Deuxièmement, l'image reflétée est la plupart du temps si claire que la pointe du crayon s'en trouve complètement éblouie. En outre et troisièmement, les images qui, en effet, ressortent à l'envers, présentent après retournement de la feuille un dessin en sens inverse.

Mais nous ne voulons pas abandonner déjà nos essais pour un appareil à dessiner car, en vérité, il est possible d'améliorer ces trois caractéristiques défavorables au moyen des « ficelles du métier ».

17. Amélioration de l'appareil à dessiner

Pour améliorer l'appareil à dessiner, tu dois faire dévier la lumière en provenance de la fenêtre à l'aide du réflecteur 2 seulement, avant que la lumière n'atteigne la plaque de verre 3, par conséquent l'envoyer sur la plaque de verre 3 par un détour sur le réflecteur 2. Pour ce faire tu tiens le miroir avec la face réfléchissante de telle façon par rapport à la fenêtre que les rayons renvoyés ne soient que très faiblement inclinés vers le sol. Tu diriges alors ces rayons vers ton œil à l'aide de la plaque de verre maintenue obliquement devant le miroir. Il est sans inconvénient que — sur leur trajectoire de la fenêtre vers le miroir — les rayons lumineux passent tout d'abord et en partie à travers la plaque de verre. Tu peux malgré tout regarder la pointe du crayon à partir d'en haut à travers la plaque de verre. Afin que tu puisses maintenir aisément plaque de verre et miroir sous le bon angle réciproque, nous t'avons tracé sur le tableau de découpage un support de miroir (a) que tu n'as qu'à découper.



Tu passes alors une faible couche de colle standard sur une des moitiés des contours sur lesquels les bords de la plaque de verre et du miroir doivent être collés, tu presses fortement là-dessus les bords de la plaque de verre et du miroir (miroir avec surface réfléchissante tournée vers la plaque de verre) puis tu laisses sécher la colle. Finalement tu enduis de colle les bords opposés du miroir et de la plaque de verre, tu replies là-dessus le côté encore libre et tu le presses jusqu'à ce que cette partie soit sèche également et soit bien fixée.

Le croquis ci-contre te montre l'appareil à dessiner terminé et en état de fonctionnement. Tu reconnais la partie supérieure par le bord rabattu de la partie médiane. Tu dois regarder sur la plaque de verre par en haut, celle-ci étant disposée comme un plancher incliné dans l'appareil à dessiner de forme cubique.

Peut-être te demandes-tu de quelle manière l'appareil à dessiner amélioré élimine les désavantages décrits au précédent chapitre : le premier désavantage est évité du fait de la double réflexion. Ensuite une modification de l'inclinaison, dans laquelle l'appareil à dessiner est maintenu, n'a pas d'influence non plus sur la position de l'image examinée. Aussi longtemps que l'angle entre plaque de verre et miroir reste inchangé — et nous avons fortement collé ces deux derniers — le rayon lumineux de déflexion forme par rapport à celui d'incidence un angle toujours constant, et sur lequel l'inclinaison de l'appareil à dessiner n'a aucune influence. C'est uniquement un pivotement latéral qui décalerait l'image examinée.

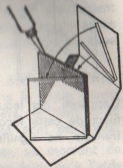
Pourquoi le rayon incident et celui de déflexion ont-ils l'un par rapport à l'autre un angle toujours constant ?

C'est parce que la divergence de l'angle, que le rayon lumineux d'incidence subit lors de la première réflexion, est toujours compensée exactement par la modification en sens opposé de l'angle que le rayon lumineux de déflexion subit lors de la deuxième réflexion. Il en est ainsi comme au chapitre 13 pour le miroir à équerre.

Notre appareil à dessiner est pour ainsi dire un miroir à équerre avec un autre angle, appareil qui, par conséquent, ne renvoie pas les rayons lumineux là d'où ils viennent, mais les renvoie dans une autre direction.

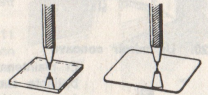
L'éblouissement des images claires se trouve amenuisé, parce que non seulement une partie des rayons lumineux — qui doivent être reflétés par la plaque de verre — sont absorbés par cette dernière et sont ainsi perdus pour la marche ultérieure des rayons, mais parce qu'en outre une partie des rayons, qui, avant d'atteindre le miroir, doivent tomber à travers la plaque de verre, sont reflétés au loin par cette dernière et sont également perdus.

En fin de compte, les images sont en position droite normale et latéralement conformes, par le fait de la double réflexion.



18. Quelle est l'épaisseur du miroir ?

Tu sais que les surfaces polies brillantes réfléchissent. Mais on a parfois en mains un objet dont on ne sait pas s'il réfléchit parce que c'est un objet dont la surface est brillante par sa nature ou parce qu'il s'agit de verre composant une couche de tain sur sa surface postérieure. Tu voudrais aussi savoir quelle est l'épaisseur du verre d'un miroir encadré, sans avoir à enlever le cadre. On peut le mesurer facilement. Il suffit de toucher la surface miroitante avec un objet, par exemple avec la pointe d'un crayon. Si la pointe du crayon est en contact avec sa propre image réflétrie ou ne l'est pas, tu le constates. Si elle ne l'est pas, c'est que la surface miroitante se trouve derrière une couche transparente, par exemple une plaque de verre. Fais-en l'expérience avec le réflecteur en verre 2.

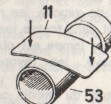


Le miroir flexible 11 possède par contre une surface métallique polie. Chez lui l'objet et l'image réflétrie se touchent lorsque l'objet entre en contact avec la surface. Ceci est un critère valable pour toutes les surfaces réfléchissantes.

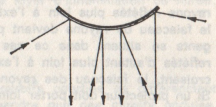
On pourrait penser que l'écart entre la vraie pointe du crayon et son image réflétrie, sur une plaque de verre comportant une couche de tain au verso, est de même apparence que la double épaisseur de la plaque de verre (1 x épaisseur du verre et 1 x image réflétrie de l'épaisseur du verre). Mais malheureusement cela ne concorde pas. Une plaque de verre a en effet une apparence toujours plus mince qu'elle ne l'est en réalité, lorsque l'on regarde à travers. Nous poursuivrons ultérieurement la discussion quant aux éléments inhérents à cette illusion optique. Nous dirons simplement ici que l'écart entre la pointe du crayon et son image réflétrie est seulement un peu plus grand que la simple épaisseur du miroir, lorsque la pointe du crayon touche la plaque de verre du miroir.

19. Un miroir courbe

Pose le miroir flexible 11, avec sa face polie brillante vers le haut, sur la courbure d'un tube coulissant 53 et opère une pression sur les extrémités. Tu courbes alors le



miroir de telle manière qu'il en résulte un miroir cambré vers l'extérieur. Si tu t'y regardes, tu as alors dans l'image réflétrie un visage très étroit. Dans un tel miroir, en effet, tous les objets ont un aspect beaucoup plus étroit que dans la réalité. Il peut capter de cette façon plus d'objets les uns à côté des autres que ce ne pourrait être le cas avec un miroir plat ; car il dirige aussi des rayons lumineux provenant d'objets situés sur les côtés en direction de l'observateur placé devant lui. A travers ce miroir tous les objets apparaissent obliquement par rapport à la direction de l'axe autour duquel il a été courbé. Ils sont aussi rapetissés et comprimés.

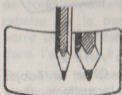




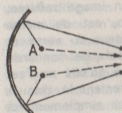
Pour qu'il repétisse également de tous côtés, les bords devraient naturellement être courbés vers l'arrière sans exception, de sorte que le miroir se présenterait sous la forme d'une fraction de sphère miroitante. De tels « miroirs réducteurs » sont utilisés comme rétroviseurs pour les véhicules, car ils possèdent un plus vaste champ de vision que les miroirs plats.

20. Un miroir concave

Et maintenant place donc le miroir flexible 11 avec sa face polie brillante sur la courbure d'un tube coulissant 53 et plie-le de telle façon que la face polie brillante se trouve à l'intérieur. Tout objet, que l'on ne tient pas trop éloigné devant un miroir cambré vers l'intérieur, apparaît agrandi. Si tu tiens la pointe du crayon proche de la face intérieure de ton miroir cambré, elle apparaîtra étirée latéralement.



Comment se réalise cette distorsion de l'image reflétée ?



Le croquis ci-contre montre comment les rayons (en petits traits) qui parviennent directement à l'œil à partir des points A et B s'incluent dans un angle relativement étroit. Les rayons à l'extérieur partant de A et B et renvoyés par le miroir s'incluent — parce que le miroir est courbe — dans un angle beaucoup plus grand. L'écart des points A et B reflétés apparaît par conséquent beaucoup plus grand que lors d'une observation directe. Un vrai miroir concave ou agrandissant, par exemple un miroir pour le rasage, est naturellement cambré de tous côtés régulièrement et représente ainsi une fraction de la face intérieure d'une sphère miroitante.

21. Miroir concave comme réflecteur de lampes

Si la lumière d'une lampe ne doit éclairer que vers l'avant, on peut disposer un miroir derrière la lampe. De cette façon, les rayons lumineux — qui, sinon, se perdent vers l'arrière — se trouvent également projetés en avant.



Si la lampe est disposée devant un miroir plat, croquis de gauche, les rayons réfléchis se dispersent dans toutes les directions. Si, au contraire, la lampe est placée devant un miroir concave, les rayons forment un faisceau.

Si la courbure du miroir concave est de forme circulaire — croquis du milieu — la meilleure concentration des rayons est alors

obtenue lorsque la lampe est placée au demi-rayon de la sphère du miroir — par conséquent à un quart du diamètre de la sphère constituée par la surface supérieure du miroir. De toute manière, les rayons ne quittent pas le miroir parallèlement. Des rayons reflétés plus loin à l'extérieur se dirigent les uns vers les autres, de sorte que le faisceau de rayons devient plus étroit. Les points de croisement des rayons convergents se situent dans ce cas d'autant plus proches du miroir que les rayons sont reflétés d'autant plus loin à l'extérieur. Après la zone de confusion des rayons s'entre-croisant, le faisceau des rayons s'ouvre de nouveau.

Si un projecteur doit porter loin, les rayons qui en partent doivent être le plus possible parallèles. Pour les rayons reflétés on peut l'obtenir si l'on opère une courbure du miroir plus faible sur les extrémités. Il en résulte alors un miroir parabolique (croquis de droite) comme on en utilise par exemple pour les phares des automobiles.

22. Les miroirs fondent le fer

Cela paraît incroyable ; mais c'est pourtant vrai ! même si on ne peut pas le faire avec les trois miroirs contenus dans notre boîte d'optique. Déjà dans l'Antiquité on a mis le feu à des navires à voile au moyen de miroirs, si l'on doit en croire les traditions qui nous ont été rapportées. Comment cela est-il possible ?

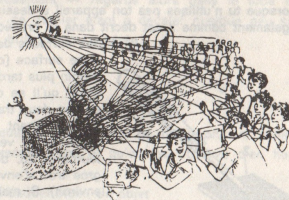
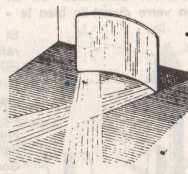
Si tu places sur un morceau de papier le miroir flexible 11 — qui a été cambré sous forme d'un miroir concave — son ouverture étant dirigée vers la fenêtre ou vers une lampe, tu pourras voir comment les rayons lumineux qu'il capte forment devant lui une tache plus claire, avant qu'ils ne tendent à se disperser de tous côtés. Des rayons lumineux tombant parallèlement dans un miroir concave fusionnent, en effet. Et si c'est un miroir parabolique dans l'ouverture duquel ils pénètrent exactement par l'avant, ils se réunissent même sur un seul point.

Si l'on dirige un tel miroir concave sur le soleil, tous les rayons lumineux qu'il capte convergent et se rencontrent en un seul point. Sur ce point se dégage une forte chaleur, car en plus des rayons lumineux, il y a aussi les rayons de la chaleur solaire qui le touchent. On peut déjà, à l'aide de petits miroirs concaves, allumer des allumettes dont le bout inflammable est maintenu sur le point de convergence des rayons. C'est pour-quoi on le désigne par le terme de point d'inflammation.

Si la surface d'ouverture dirigée vers le soleil est par exemple 1.000 fois aussi grande que la tache où convergent les rayons, dans ce cas la tache est touchée par un volume de chaleur 1.000 fois plus intense que celui qu'elle recevrait sans miroir. Quelle chaleur pourrait-il se dégager si nous possédions un miroir concave de plusieurs mètres de diamètre !

Imagine-toi les milliers de spectateurs qui sont assis sur les gradins d'un stade de football. Si chacun avait emporté avec lui un gros miroir mural et que tous les dirigent sur le terrain de football, de telle manière que tous les rayons captés soient projetés sur un point bien déterminé ! Sur ce point, l'herbe prendrait certainement feu immédiatement.

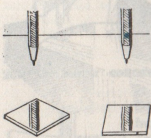
En Méditerranée, où le soleil est plus chaud, on a construit réellement un tel miroir concave, se composant d'un grand nombre de miroirs individuels qui peuvent être réglés sur le soleil. Quoique son diamètre ne soit pas aussi grand que celui d'un terrain de football, des barres de fer entrent immédiatement en fusion si elles sont maintenues sur le foyer d'inflammation du miroir.



23. Vérification du miroir

Tu sais maintenant comment les images reflétées de miroirs courbes se différencient de celles de miroirs plats, et tu es à même de comprendre que des miroirs ondulés,

dont les surfaces supérieures sont traversées de stries, livrent partiellement des images reflétées distordues. On dit de tels miroirs qu'ils sont « menteurs ». Nos réflecteurs en verre disent-ils bien la « vérité » ?



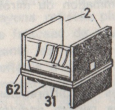
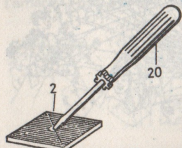
Si tu jettes un regard attentif sur l'un ou l'autre des deux réflecteurs en verre 2, tu ne pourras constater aucun défaut ; car ils livrent de bonnes images tout à fait normales. Mais dans la réalité, il n'y a que très rarement des plaques de verre qui soient absolument planes, que ce soient des verres de fenêtres ou qu'il s'agisse de plaques de verre pour miroirs. Mais de toute manière les défauts sont la plupart du temps si insignifiants que l'on doit déjà y regarder de près pour les détecter. Comment nos réflecteurs en verre peuvent-ils être vérifiés dans les meilleures conditions ?

Prends-en un et pose-le simplement sur la table devant toi, à une distance d'environ une demi-longueur de bras.

Puis étends le bras entièrement, en tenant un crayon ou un autre objet à bout long et droit derrière le miroir, de telle façon que tu puisses voir son image reflétée lorsque tu regardes bien à plat sur le miroir. Si le miroir comporte une ondulation, dans ce cas les bouts droits formeront une ligne sinueuse dans l'image reflétée, dont l'ondulation le long de la bordure droite de l'image reflétée donne l'apparence de bouger, si tu soulèves quelque peu le miroir d'un côté. Etant donné que seules les stries qui se déroulent transversalement à la bordure reflétée sont bien décelables, il est nécessaire que tu vérifies le miroir à partir de différents côtés.

24. Un regard dans le tunnel du réflecteur.

Lorsque tu n'utilises pas ton appareil à dessiner, tu peux en sortir le réflecteur. Vérifie-le également comme il est décrit dans le précédent chapitre. Si les deux miroirs comportent des surfaces de qualité différente garde celui qui a la meilleure surface (celui dont le milieu est meilleur). Tu en auras besoin plus tard pour l'appareil photographique : il faut donc éviter qu'il se détériore. Quant à l'autre miroir, tu lui feras au dos deux traits au crayon reliant les angles entre eux et s'entrecroisant au centre. Sur ce point d'intersection tu gratteras au verso du miroir la couche de tain, à l'aide du tournevis 20, de façon à faire dans l'épaisseur du tain un gros trou d'environ trois millimètres carrés (diamètre 2 mm environ). Si maintenant tu places les deux réflecteurs 2 l'un contre l'autre de manière à ce que les surfaces réfléchissantes soient accolées, un miroir se réfléchira toujours dans l'autre puis de nouveau son image reflétée, en sorte qu'on obtient l'aspect d'un nombre infini de miroirs placés les uns derrière les autres. A vrai dire il ne te serait pas possible de jeter un regard dans cette trajectoire des rayons. Cela peut se faire uniquement grâce au trou fait sur une des faces du miroir, et par lequel il est possible de regarder l'autre miroir. Afin que tu puisses tenir les miroirs en bonne position, dispose entre eux une demi-coquille à montage coulissante 31, et consolide le tout avec un ruban élastique 62 faisant double tour.

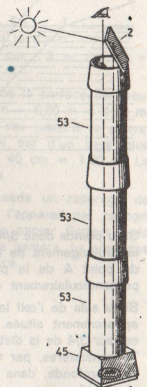


20

25. Quelle pièce de monnaie est cachée dans le tube ?

Dans un tube étroit, long et noir à l'intérieur, il ne pénètre que peu de lumière. C'est pour cette raison que ton ami ne peut pas distinguer quelle est la pièce de monnaie posée sur la table, si quelqu'un a placé sur la dite pièce le grand tube composé de trois tubes coulissants 53 et du cadre de vision 45 avec l'embouchure de ce dernier. Plus il se penche sur l'orifice supérieur du grand tube moins il peut voir, par le fait qu'il y a en plus son ombre qui pénètre dans l'orifice du tube. Tu dois alors le faire placer devant la fenêtre de telle manière que le reflet de la lumière tombant sur son visage puisse suffisamment éclairer l'intérieur du tube. S'il veut faire pénétrer de la lumière dans le tube, il pensera devoir retirer la tête sur le côté et naturellement, dans ce cas, il ne pourra plus regarder à l'intérieur du tube.

Toi, tu n'auras pas ces difficultés, car tu sais comment te tirer d'affaire avec des miroirs. Le miroir à trou dirige la lumière latéralement dans le tube, alors que ton regard à travers le trou peut suivre la lumière incidente et déviée jusque sur la pièce de monnaie. Si le trou fait dans le miroir se trouve être un peu petit — car ton regard se porte sur la face arrière du miroir disposée obliquement — regarde alors dans le tube en te plaçant près du bord supérieur du miroir, ce dernier étant à décaler quelque peu sur le côté. Tu pourras apercevoir la monnaie brillamment éclairée.

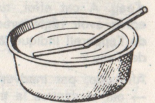


26. La cuillère coudée (réfraction)

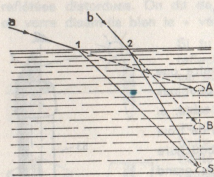
Certainement as-tu déjà remarqué qu'une cuillère ou un brin de paille ont un aspect brisé quand on les plonge dans un verre rempli d'eau et qu'on les observe d'en haut et de côté.

Tu peux poursuivre ces observations avec un baquet plein. Un objet posé sur le fond paraît se soulever avec le fond du baquet, lorsque tu approches tes yeux du bord et que tu regardes toujours plus à plat sur la surface de l'eau.

Si tu te baignes souvent tu sais certainement que, pour saisir une pierre sur le fond, on doit toujours enfoncer le bras plus profondément qu'on ne le pensait tout d'abord. Quand tu regardes dans l'eau, les pierres reposant sur le fond t'apparaissent remarquablement plates et comme n'étant qu'à une faible profondeur. Comme tu peux le voir sur le croquis, chaque rayon lumineux, qui pénètre obliquement dans l'eau, forme un coude et se développe



21



en pente plus raide à l'intérieur de l'eau. Si ton regard suit par exemple le rayon lumineux a, tu le verras se couder lors de son entrée dans l'eau au point 1 (on dit « brisé ») et il est dirigé vers la pierre S qui repose sur le fond du baquet. De cette déviation tu ne remarqueras rien naturellement, et tu penses que la pierre S se trouve sur le prolongement de la trajectoire de vision a par A.

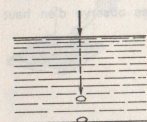
Tu seras sans doute surpris de savoir que le trajet parcouru dans l'eau par la lumière du point d'entrée 1 jusqu'à la pierre S est plus long sur le croquis, que le prolongement prévu du point d'entrée 1 jusqu'à la position virtuelle du point A. Il en est pourtant ainsi ; car, à l'intérieur de l'eau, tous les objets paraissent être situés plus proches d'un quart de leur distance réelle.

Si tu prends donc $3/4$ de la distance du point 1 vers la pierre S et que tu la dessines dans le prolongement de la trajectoire de vision a, tu parviens alors à la position apparente du point A de la pierre. Cette particularité est le fait que A se trouve exactement perpendiculairement au-dessus de S.

Si tu suis de l'œil la trajectoire b tu parviens alors à la position B, où la pierre S est apparemment située. B également se trouve perpendiculairement au-dessus de S, et ce, sur $3/4$ de la distance du trajet de 2 vers S, mais en direction du prolongement de b. Tu constateras, par conséquent, que la position apparente de la pierre devient toujours plus profonde, dans la mesure où ton regard dans l'eau se situe sous une trajectoire plus raide.

27. Un thème de gymnastique intellectuelle : à quelle profondeur repose la pierre ?

Si tu regardes dans l'eau exactement à la verticale, la direction réelle vers la pierre et la trajectoire de vision se confondent, et tu vois la pierre reposer dans l'eau à $3/4$ de profondeur de sa vraie position.



Une pierre reposant à 1 mètre sous la surface de l'eau paraît donc n'être qu'à 75 cm de profondeur (pour ceux qui désirent le savoir avec précision : elle paraît être à 75,02 cm de profondeur car, dans une eau chimiquement pure, les distances apparaissent raccourcies de 24,98 %. Dans l'eau de mer, le raccourcissement est plus grand encore suivant la teneur en sel).

Et maintenant posons le problème de gymnastique intellectuelle : Avec l'appareil photographique « Reflex » que tu vas construire avec les pièces détachées du coffret — et te postant sur un pont,

tu photographies d'en haut et verticalement une pierre reposant sur le fond d'une pièce d'eau. A cet effet, tu tiens l'appareil à 80 cm au-dessus de la surface de l'eau. Si, après avoir réglé avec précision l'image de l'écran en verre mat, le repère de distance de l'appareil indique 2 mètres, à quelle profondeur la pierre repose-t-elle sous la surface de l'eau ?

Afin que, par inadvertance, tu ne lises pas la solution avant que tu ne l'aies trouvée — car tu désires la trouver par toi-même — voici tout d'abord une mise sur la voie qui

t'y aidera :

Lorsqu'un trajet connu (par exemple 75 cm) est d' $1/4$ plus court que la distance cherchée (il comporte donc $3/4$ de la distance recherchée), on obtient la distance en augmentant d'un tiers de sa longueur la distance connue ($75 \text{ cm} : 3 = 25 \text{ cm}$) et ($75 \text{ cm} + 25 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$).

Et maintenant la solution : tu tiens l'appareil à 80 cm au-dessus de la surface de l'eau. L'appareil étant réglé sur 2 m, il reste pour le trajet dans l'eau : $2 \text{ m} - 0,80 \text{ m} = 1,20 \text{ m}$. Ceci est la distance apparente (virtuelle) depuis la surface de l'eau jusqu'à la pierre, et elle représente $3/4$ de la distance réelle. La distance réelle est d'un tiers plus grande que la distance apparente et se monte, donc à $1,20 \text{ m} + 40 \text{ cm} = 1,60 \text{ m}$. La pierre repose par conséquent à 1,60 m sous la surface de l'eau.

Remarque complémentaire : si l'appareil à miroir réflecteur possède un repérage de distance à subdivision, tu peux aisément mesurer la distance de l'appareil par rapport à la surface de l'eau ; par exemple en disposant une feuille de papier flottant à la surface de l'eau et passant bien à la verticale sous l'objectif de la caméra, tu procèdes alors à un réglage précis sur la feuille et tu peux lire la distance.

28. Voir le monde comme un plongeur et pourtant rester sec.

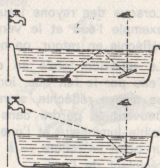
Que des rayons lumineux tombant d'en haut sur la surface de l'eau s'y réfléchissent, tu le sais déjà. Mais des rayons lumineux peuvent-ils aussi se réfléchir sous la surface de l'eau ? Tu penses peut-être qu'il faudrait être plongeur pour trouver la réponse ? Non, un miroir que tu places dans un baquet plein y suffit.

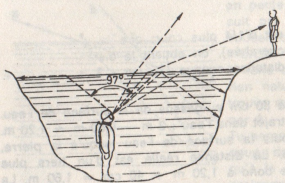


Regarde exactement de haut en bas sur le miroir que tu tiens dans l'eau (car des rayons tombant verticalement dans l'eau ne se brisent pas) et tiens-le suffisamment en biais, tu vois alors dans le miroir une partie du fond du baquet ; car les rayons lumineux sont renvoyés par l'eau se trouvant sous la surface. Et, afin que tu puisses bien voir également le fond du baquet, mets simplement ton essuie-mains dans l'eau.

Si maintenant tu tournes lentement le miroir en position plus horizontale tu vois tout d'abord une plus grande partie du fond dans le centre du baquet et puis tout à coup des objets situés à proximité du bord du baquet mais qui sont hors de l'eau !

Tu te souviens alors que des rayons lumineux frisant la surface de l'eau se « brisent » lors de leur pénétration en profondeur. Etant donné que toutes les trajectoires de rayons sont réversibles, un plongeur se trouvant dans l'eau et qui dirige son regard obliquement vers le haut a la possibilité, par conséquent, de regarder sur le côté au-dessus de l'eau. Il voit donc les buissons sur la rive de biais au-dessus de lui. Sous un plus grand angle au-dessus de lui, il peut voir le ciel et, sur l'autre côté, de nouveau le bord de la rive qui fait face à l'autre bord. Mais si le plongeur regarde encore plus obliquement en hauteur, alors il peut voir le reflet du fond faisant suite aux bords des rives.

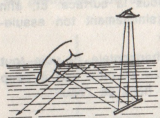




Un plongeur a donc au-dessus de lui à la surface de l'eau toute une zone dans laquelle il voit tout ce qui se passe, soit à la surface, soit dans les environs de la pièce d'eau où il se trouve. Cette zone opère comme une embouchure circulaire dans laquelle est incorporée toute l'image reflétée du fond de la pièce d'eau. Sur la crête de cette zone, où le fond de la pièce d'eau reflétée se confond avec l'image des rives, le plongeur voit les choses situées sur la rive sous un aspect étonnamment compact, flou, et les contours sont colorés.

29. Un bout de doigt sans doigt ?

Si tu places de nouveau un miroir obliquement dans l'eau et que d'en haut tu regardes — en faisant en sorte de voir une partie du fond de la cuve — comment il se refléchit sous la surface de l'eau, tu peux tirer de là un truc optique tout à fait spécial. Pour ce faire, c'est une cuve à fond clair qui conviendra le mieux, de façon à ce que ton ami — qui, lui aussi, aura la permission de regarder dans le miroir, mais supposera au contraire que c'est le fond de la cuve qu'il aperçoit dans le miroir — ne remarque pas qu'il s'agit d'une partie reflétée du plafond de la chambre qui est au-dessus de lui. Maintenant, plonge ton index un peu en profondeur dans l'eau et cherche l'endroit où tu vois le bout de ton doigt dans le miroir. Dans le miroir il semble alors que le bout du doigt — et sans main, et sans doigt — flotte librement dans l'eau. En réalité, ce que tu vois dans le miroir, c'est le fond de la cuve reflété par la masse d'eau située sous la surface ; et le bout de ton doigt qui plonge dans l'eau interrompt à cet endroit l'effet de cette masse d'eau inférieure, de sorte que tu ne vois que le bout de ton doigt dans le miroir. Mais tu ne peux apercevoir la main à laquelle appartient le doigt, du fait qu'elle se trouve hors de l'eau.



En effet, tous les rayons que ton regard suit vers la surface de l'eau où se trouve le bout de ton doigt ne peuvent pas sortir de l'eau, car ils arrivent sous un tel sens oblique qu'ils sont alors reflétés en retour dans la cuve.

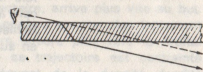
Lorsque des rayons issus d'une matière à forte densité — optiquement parlant — par exemple l'eau et le verre, ne peuvent pas s'échapper du fait qu'ils sont entièrement refléchis en retour, on nomme cela une réflexion totale.

La réflexion totale se différencie d'une réflexion issue de la surface supérieure de l'eau par le fait que, lors d'une réflexion en surface, une partie seulement des rayons se trouve refléchie, alors que les autres rayons — arrivant dans la même direction — peuvent se perdre dans l'eau : la conséquence en est que l'on voit deux images à faible luminosité et l'une sur l'autre — comme pour une plaque de verre dans laquelle un objet se reflète — à savoir : une image reflétée de l'environnement et une image du récipient de l'eau.

30. Pourquoi on peut aussi observer obliquement à travers une plaque de verre.

Sachant maintenant qu'avec une matière compacte (optiquement parlant), par exemple l'eau ou le verre, on ne peut observer en l'air que dans une direction oblique si l'angle que forment les rayons lumineux avec la surface est suffisamment ouvert, tu seras peut-être surpris d'apprendre que, malgré cela, on peut voir obliquement à travers une plaque de verre, et ceci sans qu'intervienne une réflexion totale dans le verre. Comment se fait-il que des rayons lumineux qui ont pénétré obliquement par le côté d'une plaque de verre en sortent toujours par l'autre côté ?

La réponse est simple : dans une plaque de verre on ne peut pas voir dans une direction plus oblique que celle que représentent des rayons glissant presque le long de la surface supérieure de la plaque. Dans chaque cas, après la courbure de pénétration à l'intérieur de la plaque de verre, les rayons lumineux développent une trajectoire plus aiguë par rapport aux faces extérieures, de sorte qu'ils ne sont pas refléchis. S'ils quittent de nouveau la plaque de verre de l'autre côté, ils sont alors brisés et refoulés dans leur direction primitive. Un rayon lumineux sort de l'autre côté d'une plaque de verre toujours sous le même angle sous lequel il était entré par l'autre côté ; de toute façon il sort à un endroit qui est plus ou moins décalé latéralement par rapport à la direction prolongée du rayon lumineux arrivant, et suivant l'épaisseur du verre et l'angle d'incidence.



Mais tout ceci est valable seulement lorsque les deux faces de la plaque de verre se déroulent parallèlement l'une à l'autre, par conséquent lorsque l'épaisseur de la plaque est partout régulière. Si tu as un bloc de verre avec des faces qui se développent obliquement l'une par rapport à l'autre et forment ensemble des côtés communs, cela peut donner à coup sûr une réflexion totale. De tels blocs en verre ou matière synthétique sont appelés prismes lorsque trois pans au minimum se développent parallèlement.

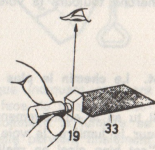
31. Un bloc transparent ne laisse pas passer la lumière

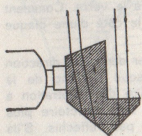
Oui, c'est réellement le cas, au moins pour une direction : notre prisme déflecteur 19 opère, pour des rayons qui frappent quelques-unes de ses faces bien déterminées, tel un réflecteur qui est entièrement recouvert d'une couche de tain et, par conséquent, reflète toute lumière. Tu veux sûrement voir cela. Prends donc le prisme déflecteur par son manche. Si tu regardes sur le prisme déflecteur dans le sens que montre le croquis, tu as l'impression de regarder sur des faces métallisées, quoique tu puisses voir dans le prisme déflecteur à partir de l'autre côté. La cause de ce phénomène ? Une réflexion totale, et même plus exactement deux réflexions totales, comme tu vas immédiatement en faire l'expérience.



32. Notre prisme inverse réellement les rayons

Tu veux certainement savoir pourquoi notre prisme est appelé « prisme déflecteur », et s'il peut inverser une image ? Pour en faire l'essai pose donc la bordure de la lamelle rouge 33 sur la marche du prisme déflecteur, puis regarde ensuite sur la face du prisme, légèrement inclinée, située tout à côté sur le haut. Cette face est maintenant rouge également !





Lorsque tu retirés la lamelle vers la droite, tu remarques que l'image reflétée de la lamelle rouge disparaît sur la gauche. Comme tu l'as appris déjà au chapitre 10, ceci ne peut se produire que lorsqu'il y a eu deux réflexions. Tu en trouveras la confirmation dans l'expérience suivante : tu écris sur la bordure d'une bande de papier une très petite lettre, par exemple le chiffre 5, et tu poses la bande côté de l'écriture sur la marche du prisme déflecteur, comme fait ci-dessus pour la lamelle rouge. Si tu as bien écrit le chiffre 5 retourné sur la bordure droite de la bande de papier, il apparaît maintenant « à l'endroit » sur la face du prisme, laquelle face avait auparavant reflété rouge après la pose de la lamelle rouge. Le croquis suivant montre comment les rayons lumineux sont inversés aux deux faces voisines à l'arrière du prisme. Chaque fois il s'agit là d'une réflexion totale. Lorsque tu expliqueras cela à ton ami, il sera étonné de tes connaissances techniques. Remets bien de côté le prisme déflecteur et la lamelle rouge, tu en auras encore besoin plus tard.

33. Le chemin le plus court.

En observant la trajectoire des rayons dans le prisme déflecteur, tu remarques nettement que les rayons de réflexion se développent quelque peu obliquement par rapport aux rayons d'incidence. En vérité les deux faces réfléchissantes à l'extrémité du prisme déflecteur ne se situent pas exactement obliques l'une par rapport à l'autre. Elles ne forment donc pas ensemble un soi-disant angle droit à 90° . L'angle qu'elles forment est plus grand et comporte exactement 94° . C'est pourquoi sur le croquis les rayons incidents tombant exactement d'en haut sur la face de laquelle ils avaient tout d'abord été renvoyés, ne forment pas un demi-angle droit, mais un angle de 47° .

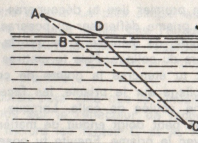
Comme promis déjà au chapitre 12, nous voulons maintenant éclaircir le fait qu'un rayon lumineux réfléchi, qui quitte la face réfléchissante, forme toujours avec celle-ci le même angle que celui formé par le rayon incident. Sur le croquis ci-contre tu peux voir les différentes trajectoires que prennent les rayons lumineux réfléchis, de A vers B. Si tu mesures ensuite la longueur des différents parcours que devrait faire la lumière de A au miroir, et de là vers B, tu trouveras que les parcours dessinés en pointillé sont plus longs que celui en trait plein. C'est le cas dans lequel les deux angles portés en noir sont d'égale grandeur. La lumière cherche toujours la voie la plus rapide, qui, dans ce cas, est aussi la plus courte.



34. Le chemin le plus rapide.

Si tu as lu attentivement la dernière phrase du chapitre précédent, tu présumeras que, pour la lumière, la voie la plus rapide n'a pas toujours besoin d'être la plus courte. C'est bien ainsi en réalité.

Tu as eu pour exemple à ce sujet (chapitre 26) la cassure de la lumière (réfraction). Le croquis suivant va encore une fois te placer la chose devant les yeux.



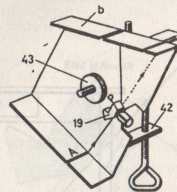
Ici un rayon lumineux se dirige du point A au point C. Alors que le point A est dans l'air, le point C repose dans l'eau. On sait maintenant que la lumière va plus vite dans l'air que dans l'eau. La lumière partant de A ne choisit pas par conséquent la voie la plus courte de A à C via B, mais bien la trajectoire par laquelle elle pourra atteindre son but le plus rapidement, soit la voie via D ; car, si, par cette dernière, la lumière reste plus longtemps dans l'air plus aisément franchissable, de cette manière la trajectoire à travers l'eau plus dense se trouve raccourcie. Compte tenu de ce que les deux tronçons additionnés de cette voie donnent une longueur plus grande que la voie directe, la lumière dans ce scindement, et malgré le détour de la trajectoire, arrive plus vite au but. Si la lumière devait traverser du verre au lieu d'eau (elle pénètre encore plus lentement dans le verre que dans l'eau) le point D se situerait alors encore plus vers la droite. L'envergure du détour que la lumière doit faire lorsque sa trajectoire est contrainte de traverser différents éléments, est fonction par conséquent de la densité desdits éléments.

35. Teintes colorées issues de la lumière blanche.

Voilà qui fait encore penser à de la magie. Lorsque tu fais tomber un rayon de lumière blanche sur le prisme déflecteur, il sort de l'autre côté des rayons lumineux colorés sous la forme d'une irisation multicolore.

Si tu tiens le prisme déflecteur dans la lumière, et que tu le regardes, tu pourrais voir par hasard des rayons lumineux colorés ; la plupart du temps tu ne remarqueras rien de bien spécial.

Le rayon lumineux blanc doit se présenter comme une bande large mais mince et frapper sous l'angle juste une face déterminée du prisme. Alors seulement un faisceau de bandes lumineuses colorées sort simultanément de la face opposée du prisme. Tu ne pourras observer cela que si tu portes ton regard sous le bon angle sur la face opposée du prisme, ou si tu fais tomber les bandes lumineuses colorées — si elles sont assez claires — sur un écran de captation, écran que tu devras à cet effet maintenir dans leur direction. Afin que, malgré ces nombreuses conditions, qui doivent toutes être très bien observées, tu puisses voir sans trop de peine ces rayons lumineux colorés, nous avons dessiné sur le tableau des découpages un gabarit b. Il comporte deux bordures articulées, à travers la fente desquelles la lumière peut passer. Ce gabarit à fente comporte également une marque indiquant comment les rayons lumineux tombent — à travers la fente A — sur une face du prisme déflecteur 19, marque désignée vers P. En outre, tu peux constater comment la lumière se brise aussi bien à l'entrée qu'à la sortie du prisme, et comment elle parvient finalement à la fente d'observation B.

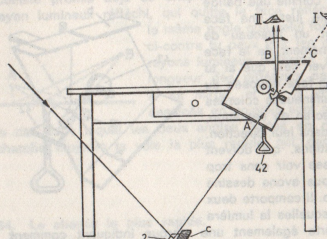


En premier lieu tu découperas avec précaution le gabarit à fente b. Pour le collage sur le prisme déflecteur tu poseras le gabarit un peu surélevé, par exemple sur le présent guide, de manière à ce que la poignée du prisme se situe en hauteur et ne gêne pas lors du collage. Puis tu mettras une goutte de colle au milieu de l'esquisse P du prisme et tu étendras la goutte de colle avec le bout de ton petit doigt, afin que, lors du collage sur le prisme, les faces polies du prisme ne risquent pas d'être abîmées par une coulée de colle. Lorsque tu prendras le prisme déflecteur en main, tu écarteras ton petit doigt enduit de matière collante de façon à ce qu'il ne vienne pas en contact avec le prisme. Ensuite tu poseras le prisme déflecteur juste dans l'esquisse repérée P et ce, de manière à ce que ses bords coïncident exactement avec le marquage des lignes de l'esquisse, puis tu presseras fortement. Finalement tu laisseras sécher quelques minutes le gabarit à fente ainsi préparé et tu replieras les bordures refendues vers le haut le long des deux lignes marginales hachurées.

A travers le trou, au-dessus du prisme consolidé, enfile de l'arrière le bouton fileté latéral du support de fixation 42 et visse fortement le gabarit à fente à l'aide du gros écrou moleté 43 — comme sur le croquis — de telle manière que la bordure comportant la fente d'observation B forme un bord supérieur horizontal, et qu'ainsi tu puisses voir d'en haut dans la fente d'observation B.

Un tel dispositif, tel que tu l'as maintenant assemblé, est un simple spectroscopie. Avec ce dispositif on peut observer les couleurs du spectre dans lesquelles la lumière blanche est décomposée par un prisme. Notre spectroscopie n'est pas terminée : il manque encore le rayon lumineux en faisceau plat. La fente A, en effet, ne suffit pas à concentrer la lumière assez finement. Elle doit uniquement pouvoir laisser le faisceau de rayon lumineux passer au travers, faire obstacle à l'intrusion de lumière secondaire et faciliter l'ajustage sur le faisceau du rayon de lumière.

Bien entendu nous ne disposons pas à volonté d'un faisceau de rayon lumineux. Mais nous pouvons nous tirer d'affaire : à un mètre d'écartement de la fente A nous pouvons faire une fente d'environ 2,5 cm de large, de 1 cm de hauteur maxi, bien éclairée, et horizontale, qui suffira pour ajuster notre spectroscopie. Naturellement il est nécessaire de se procurer une lampe forte ayant un bon écran de couverture indispensable pour cette fente.



A cette place exacte tu disposes un réflecteur en verre 2 (pour ce faire prends le plus mauvais, afin que le meilleur ne soit pas piétiné par inadvertance). Si, au dos de ce réflecteur, on avait précédemment gratté un trou, cela ne gêne pas puisqu'il sera

Par un petit « truc » nous allons donc nous fabriquer le faisceau de lumière nécessaire. Tu vises ton spectroscopie avec le support de fixation sur le coin d'une plaque de table, de manière à ce que le bord comportant la fente d'observation forme un bord supérieur fixe à peu près horizontal. Ce bord supérieur possède une deuxième fente C qui sert à l'ajustage. A travers la fente C et par la fente d'entrée A en passant par le prisme consolidé, tu peux voir maintenant le plancher. Note bien l'endroit où le rayon lumineux que suit ton œil touche le plancher.

ensuite recouvert. Si tu as bien procédé, tu peux voir maintenant sur le réflecteur à travers les fentes C et A.

En ce moment le réflecteur ne doit surtout pas encore être éclairé. Le plus simple est que tu disposes à côté une lampe la plus forte possible de telle façon que l'image réfléchie de la lampe couvre exactement le miroir du réflecteur, lorsque tu regardes le réflecteur à travers les fentes C et A. Une lampe en verre dépoli ou un tube fluorescent suffisent très largement en tant que « lumière blanche ».

Mais cela va encore mieux avec la lumière du jour. Il faudrait pour cela que la lumière d'un coin de ciel (cela ne fait rien s'il est nuageux) tombe sur le réflecteur de façon à ce que la lumière s'y reflète lorsque tu le regardes à travers les fentes C et A. Si la table a une position défavorable par rapport à la fenêtre, tu peux tout d'abord poser le réflecteur sur le sol et essayer de trouver un endroit au bord de la table à partir duquel tu peux voir comment le ciel se reflète dans le réflecteur. Tu pourras alors visser le spectroscopie à cet endroit.

L'éclairage du réflecteur étant maintenant en ordre, tu recouvres d'un morceau de carton noir la moitié du réflecteur qui fait face au spectroscopie. A cet effet, tu peux découper au tableau des découpages la pièce noire rectangulaire c. Mais conserve-la bien après ces essais avec le spectroscopie car nous en aurons encore besoin plus tard.

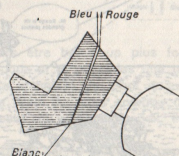
Regarde maintenant en direction du prisme à travers la fente B. Si tout a bien été exécuté, tu dois apercevoir une tache presque carrée, qui est un peu plus petite que la face observée du prisme et qui luit de merveilleuses couleurs passant du rouge au jaune et du vert au bleu et violet-bleu (voir aussi chapitre 45).

Si tu n'aperçois pas encore cette tache c'est que le prisme n'est pas bien encollé. Mais cela ne fait rien : car en tournant avec précaution — dans un sens ou dans l'autre — la double flèche portée sur le croquis (le bord supérieur du spectroscopie se règle ainsi un peu plus en hauteur d'un côté ou de l'autre) tu trouveras alors rapidement la position dans laquelle le rayon lumineux pénétrant à travers A frappe le prisme sous le bon angle. Tu peux aussi essayer de voir avec l'œil un peu obliquement dans la fente d'observation B. Si tu n'obtiens toujours pas de résultat, vérifie alors si le carton n'est pas voilé et si, de ce fait, la face collée du prisme ne dirige pas le regard en direction du prisme. Le carton devra alors être remis à plat ou le réflecteur décalé quelque peu latéralement.

36. Comment la lumière est décomposée dans le prisme.

Tu désires certainement apprendre comment les rayons lumineux colorés sont extraits de la lumière blanche. A ce sujet il te faut tout d'abord savoir que la lumière blanche résulte toujours du fait que de la lumière multicolore est soumise à un mélange dans des proportions déterminées. C'est le célèbre savant anglais Newton qui a fait cette découverte en l'an 1672.

Dans un prisme se produit le phénomène d'inversion. La lumière blanche y est décomposée dans les couleurs dont elle est faite (le spécialiste nomme cela dispersion). Le croquis ci-contre te montre comment cela se produit : Le rayon lumineux blanc se brise lors de sa pénétration dans le prisme. Il se décompose alors en rayons lumineux correspondant aux différentes couleurs dont était précisément faite la lumière blanche.



Pour simplifier l'explication il n'a été marqué sur le croquis qu'un rayon bleu et un rayon rouge. Dans la réalité, il y a parmi ces rayons toute une gamme aux couleurs de l'arc-en-ciel et, outre le rayon bleu, des rayons violets. Sur ce croquis, les rayons lumineux sont dissociés les uns des autres beaucoup plus que ce n'est le cas dans la réalité. Dans le prisme, le faisceau de rayons ne s'ouvre que pour une fraction d'un degré d'angle (un degré d'angle est la 360^e partie de la circonférence d'un cercle), et, après la deuxième réfraction, au moment de la sortie hors du prisme, ses rayons extérieurs s'incluent — à notre spectroscopie — dans un angle d'environ un degré seulement.

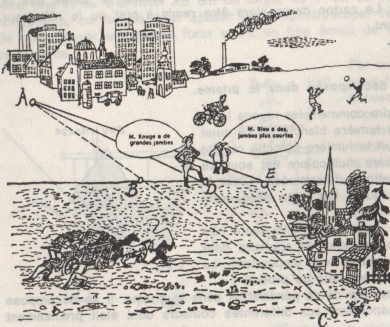
Comme tu le vois, les rayons lumineux colorés, qui proviennent bien tous ensemble de la même direction, sont brisés dans une plus ou moins forte mesure au moment de la pénétration dans le prisme (et aussi lors de leur sortie). Tu as appris au chapitre 34 que le rayon lumineux se brise plus fortement lorsqu'il pénètre dans une matière optiquement dense, dans laquelle il ne peut alors avancer que lentement. Le fait que chaque rayon lumineux coloré se brise sous un autre angle signifie donc uniquement que les différents rayons lumineux colorés ne peuvent traverser la matière dense à la même vitesse. Lors du passage dans le prisme ils sont freinés dans une proportion plus ou moins forte.

Pour la lumière rouge ce freinage est plus faible que pour la bleue, c'est pourquoi la lumière rouge est plus faiblement diffractée que la bleue.

Aussi longtemps que des rayons lumineux multicolores viennent de la même direction et dans une juste synthèse, ils restent blancs, parce que nous les voyons sous forme d'un mélange.

Après qu'ils aient été diffractés à travers le prisme, chaque rayon prend une direction correspondant à sa propre couleur ; les différentes couleurs apparaissent alors placées les unes près des autres et se confondent en une bande lumineuse colorée appelée le spectre. En tant que couleur initiale du spectre on devrait voir le pourpre avant le rouge. Mais le pourpre n'intervient pas comme couleur spectrale pure, mais seulement comme couleur de synthèse.

37. Grands et petits pas.



Comment se fait-il qu'une seule et même matière — par exemple le Plexiglas — dont est fait notre prisme — comporte une densité optique différente pour diverses couleurs ? Expliquons cela par l'exemple suivant : examine le croquis du chapitre 34, et imagine qu'un homme portant des bottes de caoutchouc et étant parti de la ville A doit courir vers le village C. Alors que dans les environs de la ville A le sol est sec et bien pavé, le village C est entouré d'un vaste champ de boue, qui, sur le croquis du chapitre 34, est représenté en pointillé. En courant, à chaque pas, les bottes adhèrent fortement au

champ de boue et il faut chaque fois un moment jusqu'à ce que l'on puisse retirer le pied du sol pour faire un nouveau pas. Naturellement l'homme ne prendra pas le chemin par B mais bien par D, parce que, dans ce cas, il n'aura pas à patauger aussi longtemps dans la boue.

Si maintenant c'est un autre homme, de même force, mais ayant des jambes plus courtes, qui prend le même chemin, cette même boue lui causera de beaucoup plus grosses difficultés et il devra faire un plus grand nombre de pas que le premier homme. C'est pourquoi il fera de préférence un détour encore plus grand sur le sol sec, s'il peut ainsi s'épargner un bout de chemin à travers la boue et si, de cette façon, il peut raccourcir le temps nécessaire pour toute sa course. C'est donc à partir de E qu'il passera dans la zone boueuse, soit à la droite de D sur le croquis.

Cet exemple démontre que la même difficulté prend une envergure différente suivant diverses personnes. Revenons sur la question de la lumière : ce que, dans notre exemple, nous avons appelé longueur de pas correspond pour les rayons lumineux à ce que l'on nomme « longueur d'onde ». Ainsi que les savants l'ont découvert, la lumière bleue a une longueur d'onde plus courte que la rouge, et, par conséquent, elle est plus fortement diffractée lors d'une pénétration oblique dans une matière optiquement dense.

38. Permutation du bleu et du rouge ?

Si tu as bien observé, il devrait tout d'abord t'être venu à l'esprit que, lors de l'examen dans la fente d'observation B, la bande de lumière colorée a sa raie rouge sur le côté, alors que là tu t'attendais certainement à voir une raie lumineuse bleue. Ou bien l'affirmation que la lumière bleue est plus fortement diffractée est-elle une erreur typographique ? Non, ce n'est pas une erreur. En l'occurrence il s'agit plutôt de la différence entre image apparente (virtuelle) et image réelle.

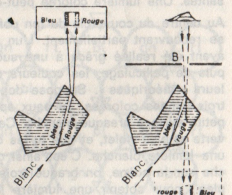
Cette explication ne t'est pas bien secourable pour le moment ? C'est pourquoi examine tout d'abord le croquis. Il montre dans les deux cas, à gauche et à droite, comment le prisme décompose la lumière blanche en bleu et rouge.

A gauche il est admis que les rayons lumineux sont si clairs que tu peux replier le bord comportant la fente d'observation B et capter les rayons sur une feuille de papier, de la même manière que l'on capte les images au cinéma sur une toile.

Pour cela la lumière frappant la toile (écran) doit d'ailleurs être beaucoup plus forte que la lumière ambiante. L'expérience ne peut alors réussir que si tu possèdes une très forte lampe et que tu as assombri l'environnement dans la chambre, ou alors qu'avec le miroir tu diriges les rayons solaires directement dans la fente A, étant entendu que la feuille de papier maintenue, pour l'observation, au-dessus du dispositif, doit être située à l'ombre.

De toute façon, les bandes lumineuses bleues et rouges captées par la feuille de papier se situent comme il est indiqué à gauche sur le croquis, par conséquent dans l'ordre de succession exact et comme prévu.

A droite, il est montré comment les rayons sortant de la fente d'observation sont suivis par l'œil dans la direction d'où ces rayons proviennent. Les traits pleins montrent que



les rayons lumineux dans le prisme sont diffractés comme de coutume. Les lignes pointillées montrent par contre comment l'œil leur fait face et les observe au long de la direction d'où ils viennent.

Comme tu le sais déjà par les essais avec les miroirs, il peut sembler qu'un rayon lumineux provienne d'un paysage situé derrière le miroir, alors qu'en réalité il est inversé par le miroir. Maintenant il peut aussi sembler que les rayons lumineux viennent de la direction qu'indique le prolongement vers l'arrière des rayons lumineux touchant l'œil. Les traits pointillés ne font pas la cassure de diffraction que subissent en réalité les rayons au moment où ils sortent du prisme.

Si tu prolonges vers l'arrière les lignes du bleu et du rouge, elles vont même se croiser ; car c'est séparément l'une de l'autre qu'elles se dirigent vers l'œil. Et c'est cette intersection qui fait apparaître à l'œil le rouge et le bleu comme étant substitués dans leur position.

Une telle image, qui est constatée là où ce sont des rayons prolongés vers l'arrière qui la simulent — par exemple une image réfléchie — est appelée une image virtuelle. Les hommes de science la nomment effectivement image virtuelle. Une image réelle, par contre, est réellement là où on la voit, et les hommes de science lui donnent le nom d'image réelle. Afin que tu ne t'esclaffes pas de ce que les hommes de science baptisent d'appellations de leur cru des choses qui sont pourtant très normales, notons d'ores et déjà qu'il y a aussi des images réelles — donc des vraies — qui flottent dans l'air sans être vues. Mais, là-dessus, nous en dirons plus ultérieurement.

39. Combinaisons lumineuses

Avec le prisme tu viens de décomposer de la lumière blanche en ses couleurs composantes. Une lumière colorée peut-elle aussi être reconvertie en lumière blanche ? Oui.

Au centre du couvercle de ton coffret d'optique se trouvent trois gros cercles en couleur se recouvrant partiellement. L'un est vert, l'autre rouge, le troisième bleu. Le couvercle ayant été réalisé grâce à une succession d'opérations de photogravure et d'imprimerie, puis de pelliculage, les couleurs obtenues ne sont plus absolument identiques aux couleurs « théoriques ». Suppose donc que ces trois cercles représentent les faisceaux de trois lampes colorées. Tu peux apercevoir au point de jonction des trois cercles une petite surface presque blanche. Cela te montre que, si tu disposes de trois lampes rouge, verte et bleu-violet, et que tu les diriges toutes les trois sur le même point, tu obtiendras une lumière blanche. C'est ainsi que, dans un théâtre, pour obtenir une paroi très blanche sur la scène, on braque trois lampes colorées. On pourrait prendre d'autres exemples : pour obtenir une lumière jaune, il faudra une lampe verte et une rouge.

Si tu peux te procurer deux lampes de poche, place devant chacune d'elles une feuille d'une autre couleur, par exemple la lamelle rouge 33 et la verte 34. Tout d'abord projette chacune séparément sur une feuille de papier blanc que tu as posée sur la table dans la chambre sombre. Puis projette les deux lampes en même temps, de telle manière que les deux lampes soient dirigées sur le centre du papier. A ce moment tu peux vraiment produire trois couleurs au choix : rouge, vert et jaune, suivant que tu enlèves l'une ou l'autre des lampes ou que tu laisses éclairer les deux.

Si tu avais encore une troisième lampe de poche avec la lamelle bleue 36, alors la combinaison jaune que tu as formée avec les deux autres lampes pourrait être ramenée à la couleur presque blanche. Mais il serait difficile d'en faire résulter une couleur blanche pure. Car, en fait, la lumière dans les lampes est jaunâtre et la lamelle bleue n'est pas bleu-violet. Il faut aussi considérer quelle est exactement la nuance de ton du jaune

de la combinaison de lumière. Tu sais qu'il existe par exemple un jaune verdâtre ou rougeâtre et naturellement chacune de ces nuances peut, en outre, avoir une teinte encore plus claire ou plus sombre. Pour obtenir un blanc pur il faudrait que les teintes et la luminosité des couleurs combinées soient très exactement accordées les unes aux autres.

Il est intéressant de noter que des objets illuminés par des lampes colorées ont plusieurs ombres colorées de façons différentes. Dans le domaine des ombres, le mélange de lumières colorées n'est plus parfait car, à cet endroit, les ombres émises par l'objet ne comptent plus et s'annulent pour le mélange.

Dans le langage professionnel, la combinaison de lumière colorée est appelée « combinaison additionnelle de couleurs », parce que les sources de couleurs sont mises en commun, par conséquent additionnées.

40. Éléments des images à la télévision.

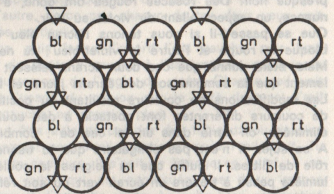
Si tu as l'occasion de voir en fonctionnement un appareil de télévision en couleur, tu pourras te convaincre que les images sont constituées uniquement de points verts, rouges et violet-bleu. Pour le voir, il suffit qu'avec une loupe tu observes l'image de télévision couleur (ou bien à l'aide de la lentille convergente carrée 47).

En observant des parties blanches de l'image, on voit d'une façon particulièrement claire qu'il s'agit en l'occurrence d'une combinaison additionnelle de lumières : si justement apparaît une chemise blanche sur l'image colorée ou même seulement une image noir-blanc reproduite par l'appareil, l'image est toujours constituée de points rouges, verts ou bleu-violet, lesquels sur le croquis sont désignés par rt - gn et bl. Ces points sont disposés en une trame fine et régulière sur tout l'écran, de la façon démontrée sur le croquis ci-contre pour un tube cathodique observé de l'avant.

Les différentes couleurs qui peuvent être vues sur l'image de télévision couleur sont produites par différenciation de luminosité des divers points en couleurs. Si par exemple un objet est jaune foncé sur l'image les points en couleurs rouge et verte sont plus clairs, alors que les points en couleurs bleu-violet sont plus sombres.

A une distance normale d'observation l'œil ne peut plus distinguer ces différents points couleur et il capte toujours par conséquent trois points couleur sous la forme condensée d'un point unique d'image couleur. Sur notre croquis les trois points couleur formant donc en commun le point unique d'image sont représentés reliés par un petit triangle. Les points d'image voisins se confondent dans la vision, car en effet l'écartement du point d'image proche par rapport aux points couleur n'est pas plus grand que l'écart entre les points couleur eux-mêmes sur la même image.

Les trois cercles de couleur au centre du couvercle de ton coffret d'optique coïncident dans leur position avec les trois points couleur d'un point image de télévision couleur, mais naturellement ils sont considérablement grossis sur le croquis et s'irradient en halo, alors que les points couleur sur l'écran de télévision sont séparés les uns des autres.



D'ailleurs les petits points lumineux sur le réflecteur du tube cathodique d'un récepteur de télévision noir et blanc ne sont pas tout à fait unicolores, comme tu peux le constater à travers la loupe. Ce sont plutôt là des points violet, bleu et jaune combinés. Cela devrait finalement donner une lumière combinée blanche, mais l'aspect en est bleuâtre, parce que les particules bleu-violet sont en majorité. De toute façon, les petits points lumineux d'un tube cathodique noir et blanc ne sont pas disposés aussi régulièrement que ceux d'un tube cathodique télévision couleur.

41. Rosaces noires.

Examine ton environnement avec l'écran jaune 35. Tout apparaît aussitôt clair et ensoleillé ! Evidemment, les couleurs se modifient telles que tu les vois, si la lumière doit tout d'abord passer à travers l'écran jaune avant qu'elle n'atteigne ton œil.

Pour un examen plus détaillé de ce phénomène, tu peux utiliser les couleurs de ton couvercle. Pose donc l'écran jaune sur les trois grands cercles colorés au centre du couvercle. Les cercles rouge et vert deviennent un peu plus sombres, mais changent à peine de teinte. En revanche, si tu poses l'écran jaune sur la teinte bleu-violet située exactement à gauche de la lunette tenue par le garçon illustrant le couvercle, ce bleu-violet devient presque noir.

Mais noir signifie : pas de lumière. L'écran jaune ne laisse donc passer aucune lumière violet-bleu, alors que les lumières verte et rouge peuvent facilement passer. Il n'y a là aucun prodige : alors que l'écran jaune laisse traverser simultanément la lumière verte et la rouge, elle prend la couleur de la combinaison lumineuse vert-rouge, à savoir jaune.

Quelle est donc la couleur que notre écran bleu 36 peut enlever ?

Si tu poses l'écran 36 sur le cercle coloré, tu verras que cette fois le rouge devient presque noir. Des rosaces rouges ont donc, à travers un filtrage bleu et suivant la nuance, un aspect allant du violet au noir.

Que se passe-t-il si nous tenons l'écran bleu et le jaune l'un derrière l'autre ? L'un bloque le rouge et l'autre le violet-bleu ; tu ne pourras pas voir ces deux couleurs. Mais, étant donné que ces deux écrans laissent traverser le vert, il en résulte naturellement que la combinaison des écrans jaune et bleu a l'aspect du vert.

Les modifications de couleurs résultant du positionnement l'un derrière l'autre d'écrans de couleurs différentes font obstacle à des couleurs déterminées : ces couleurs étant éliminées, on parle dans un tel cas de : combinaison soustractive de couleurs.

A ce sujet, il n'est pas obligatoire que tu tiennes devant ton œil les écrans jouant le rôle de filtres. Il suffit que tu peignes la couleur sur une feuille de papier. Que la lumière passe à travers un écran vert ou soit réfléchi par un objet vert, c'est la même chose. Tu peux, par exemple, poser l'écran jaune sur une plaque bleu clair ou bien poser l'écran jaune et l'écran bleu ensemble sur du papier blanc, il en résultera toujours un aspect vert. Oui, même si tu fais tomber de la lumière bleue sur une plaque jaune, cette dernière aura un aspect vert.

La petite figure formée de trois cercles colorés, que tu trouveras sur le feuillet imprimé en couleurs fourni avec le tableau des découpages, montre la combinaison de couleurs qui résulte de la combinaison soustractive des trois couleurs pourpre, jaune et bleu. Cette combinaison de couleurs est celle des couleurs rouge, vert et violet-bleu situées sur l'extérieur sur l'autre cercle coloré pour combinaison additionnelle. Toutes les trois ensemble donnent noir au centre, et souvent brun lors de combinaison incomplète (par exemple pour des couleurs de peinture). Une telle combinaison de couleurs, tu la réalises déjà, lorsque tu peins avec des crayons de couleurs et des couleurs à l'eau, où jaune et bleu donnent vert aussi.

42. Disparition des couleurs.

Si tu écris quelque chose avec un crayon rouge sur du papier blanc, et que tu le recouvres avec l'écran rouge, tu ne peux plus le lire. Les traits du crayon rouge ont disparu dans la couleur rouge de l'écran.

Si tu écris quelque chose avec un crayon bleu, tu peux obtenir le même effet si tu recouvres avec l'écran bleu. D'ailleurs l'écran bleu comporte un bleu très clair ; tu dois donc écrire avec un crayon bleu clair ou alors ne presser que très peu en écrivant afin que les traits de l'écriture soient bien minces.

Si tu poses l'écran rouge sur une écriture bleue, elle apparaît presque noire et bien marquée. L'écriture rouge également prend un aspect sombre si tu poses dessus l'écran bleu.

Si tu dessines une figure rouge et une bleue l'une sur l'autre, tu peux de nouveau séparer les figures, alors que d'habitude elles s'entremêlent et s'embrouillent ; car à travers l'écran rouge tu ne vois que la bleue, et à travers l'écran bleu, tu vois la figure rouge. Tu peux donc choisir laquelle des deux figures tu désires voir. Si tu tiens devant l'œil gauche l'écran rouge et devant l'œil droit l'écran bleu, chaque œil voit une figure. Si tu as dessiné des figures sans signification particulière cela ne sert pas à grand-chose de toute façon. Mais il y a des dessins qui gagnent à être observés à l'aide d'un tel procédé d'observation.

43. Vision stéréoscopique

Si tu observes un objet dans ton environnement immédiat, il apparaît au sens propre du terme que ton œil gauche voit une autre image que ton œil droit. Les deux images sont quelque peu différentes l'une de l'autre, parce que chacun de tes deux yeux voit en effet cet objet sous un angle de visée particulier.

Tiens donc un crayon devant ton visage, puis ferme d'abord l'œil gauche, puis l'œil droit. Le crayon te fait l'effet de sauter de droite à gauche à l'arrière-plan, quoique tu le tiennes bien fermement. Cela vient justement de l'angle de visée. Chaque œil voit une image différente ; l'œil gauche voit l'image du crayon sur le côté droit, et l'œil droit voit une image avec le crayon à gauche au premier plan.

Tu comprendras maintenant que cela peut être utile de peindre des tableaux ou dessins sur lesquels on dessine un peu différemment pour l'œil gauche et pour l'œil droit. Tu trouveras un tel dessin sur le tiré à part en couleurs. Il s'agit de l'image en relief — on dit aussi image stéréoscopique — d'un cube qui est constituée des deux images confondues et embrouillées d'un cube bleu et d'un cube rouge. Le cube bleu est destiné à l'œil gauche qui doit le regarder à travers l'écran rouge. Le cube rouge est la projection que l'œil droit doit recevoir de l'image stéréoscopique. Par conséquent, l'œil droit doit regarder le cube rouge à travers l'écran bleu.

A travers les écrans chaque œil voit son cube en traits sombres, alors que le cube dessiné pour l'autre œil ne peut être vu que très pâle et disparaît même, dans la meilleure hypothèse.

Considérées à partir d'une distance juste et posées bien droites devant toi, tu peux — après quelques exercices — faire se confondre les deux images l'une dans l'autre. Pour le faire au mieux, regarde, avec les yeux reposés, tout d'abord le lointain (ou la paroi qui te fait face) et tu obtiens alors rapidement la double image en direction de ta vision.

Tu aperçois alors les bords noirs d'un cube flottant librement en l'air et dans lequel tu

peux bien voir l'intérieur. Il semble être plus éloigné de toi que la feuille imprimée. De la droite et de la gauche les contours pâles de cubes plats font saillie dans l'image : ils ne seraient pas visibles si les couleurs des écrans et des dessins concordait encore plus exactement, et que, toi, tu observes l'image avec une lumière parfaitement blanche.



Comme tu le constates toi-même, une telle image relief ne donne pas entièrement satisfaction. C'est pourquoi il a été mis au point des stéréoscopes compliqués et coûteux, dans lesquels les images sont placées l'une à côté de l'autre et sont observées par des systèmes à lentilles séparées. Comme, dans ce cas, il n'est plus besoin d'écrans colorés, il est possible de cette façon de constituer des images relief à partir de photos en couleurs, qui sont alors placées à distance correspondante l'une de l'autre.

L'importance qu'a la vision stéréoscopique dans la vie de tous les jours, tu peux l'expérimenter par l'essai suivant, qui te montre que deux doigts ne peuvent même pas se rencontrer devant ton visage, lorsque tu fermes un œil. Tu ne veux pas le croire ? Alors ferme le poing de tes deux mains, le pouce étant relevé. Tu tiens le poing gauche devant ton visage de telle façon que le pouce pointant vers le haut se situe à environ 30 cm du bout de ton nez. Maintenant tente d'abaisser sur le pouce gauche, de haut en bas, ton pouce

droit de la main droite qui, lui, pointe vers le bas, et cela jusqu'à ce que les deux bouts des pouces se touchent, et que naturellement pendant ce temps tu as fermé un œil ? Tu verras combien souvent le pouce droit passe à côté du pouce gauche, par-devant ou par-derrrière, à une largeur de doigt de distance.

44. Lumière du jour.

Après tes différents essais avec les écrans colorés, tu sais que la couleur de la lumière peut modifier entièrement l'aspect des couleurs sur des tableaux ou sur des objets. C'est pour cette raison que les peintres utilisent toujours des ateliers avec des fenêtres orientées vers le nord. Ainsi ils sont sûrs d'être protégés contre la lumière directe du soleil. De même lorsqu'on achète un habit ou de l'étoffe, on va souvent devant la porte du magasin pour voir comment la couleur se comporte à la lumière du jour.

Aujourd'hui on peut imiter avec assez d'exactitude la lumière du jour par l'emploi de tubes fluorescents, de sorte que les couleurs gardent leur teinte naturelle même à la lumière artificielle. Alors que les tubes fluorescents habituels donnent une lumière un peu plus bleuâtre que le ciel pendant le jour, la lumière des lampes à incandescence donne un effet jaune allant parfois jusqu'au rougeâtre.

Il existe naturellement des tubes fluorescents qui, grâce à un enduit spécial, donnent une lumière rougeâtre. Tu pourras souvent contempler de telles lampes fluorescentes à la vitrine des bouchers. Elles y sont installées parce qu'à la lumière des lampes bleuâtres la viande rouge prend une teinte grise désagréable. La viande ne peut conserver son aspect rouge naturel que lorsque la lumière qui l'éclaire comporte une proportion suffisante de rayons rouges.

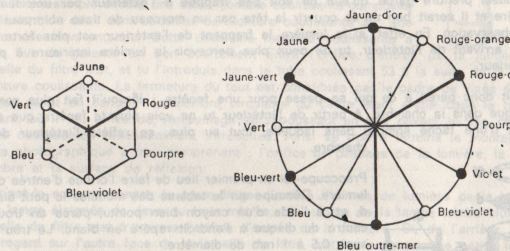
Le soir, quand les rayons du soleil tombent obliquement sur la terre, et doivent traverser — sur de longues trajectoires — les couches atmosphériques chargées de vapeurs,

avant d'atteindre la surface de notre planète, le soleil à son coucher prend alors une teinte rouge vif.

Les rayons bleus traversent avec beaucoup de difficultés des couches atmosphériques vaporeuses et leur luminosité s'en trouve affaiblie par rapport à celle des rayons rouges.

45. La ronde des couleurs.

Pourpre — la couleur initiale du spectre (voir pages 28-29) étant la même que violet-rouge, il nous est venu à l'idée d'inscrire les couleurs sur les pans d'un hexagone de manière à ce que violet-rouge (pourpre) soit placé tout à côté de violet-bleu qui est la couleur finale du spectre.



Des sources lumineuses projetant des couleurs qui se font face sur l'hexagone se combinent en lumière blanche, si elles ont la nuance juste et une bonne luminosité. De telles couleurs se confondent en blanc sont appelées couleurs complémentaires.

Les nuances des couleurs ne sont toutefois pas encore précisées avec assez de netteté. Ainsi par exemple le rouge devrait être quelque peu jaunâtre, mais ce sont là des nuances que l'on peut malaisément reproduire dans une rosace à subdivision si simplifiée. C'est pourquoi à droite, à côté du simple hexagone, nous avons inscrit un grand cercle comportant des nuances intermédiaires, ces dernières permettant de mieux préciser les différentes couleurs. Tu peux voir sur ce cercle que bleu et rouge ne sont pas situés exactement l'un en face de l'autre, mais que maintenant le rouge est scindé en rouge cerise et orange-rouge, et que orange-rouge fait face à bleu et que rouge cerise fait face à vert-bleu.

46. Une boîte photographique à trou.

Il t'est certainement arrivé pendant des vacances à la campagne ou au bord de la mer d'entrer dans une vieille baraque à outils ou dans un hangar à bateaux. Dans cette sombre baraque tu as peut-être observé un rai de lumière filtrant entre deux planches disjointes ou par le trou d'un nœud de planche disparu. Dans ce cas tu as pu remarquer

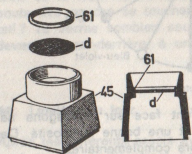
qu'un coin de ciel avec des nuages ou avec le toit de la maison d'en face se reflète sur une paroi ou sur ta chemise.

Nous allons suivre à la trace le secret de cette apparition. Naturellement tu n'as plus maintenant à ta disposition cette baraque sombre avec le trou approprié pour le passage de la lumière. C'est pourquoi tu vas te construire un petit appareil à l'aide des pièces détachées de ta boîte OPTIQUE, modèle qui aura les mêmes caractéristiques : chambre sombre, une entrée de lumière et une surface de réflexion.

Etant donné que dans un modèle réduit on ne peut, de l'intérieur, observer la surface de réflexion, du fait que la chambre sombre est beaucoup trop petite, nous allons faire en sorte que la surface de réflexion puisse être vue depuis l'extérieur.

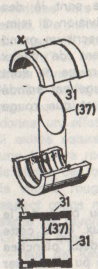
Pour ce faire, il faut naturellement que la matière dont elle est faite puisse être découpée. Il faut aussi prendre garde qu'elle ne soit pas frappée à l'extérieur par une lumière secondaire et il serait bon de se couvrir la tête par un morceau de tissu noir pour une bonne observation. En effet, si la lumière la frappant de l'extérieur est plus forte que celle lui arrivant de l'intérieur, tu ne peux plus percevoir la lumière intérieure à partir de l'extérieur.

Ce serait donc pareil à ce qui se passe pour une fenêtre : lorsqu'il fait plus sombre dehors que dans la chambre, à partir de l'intérieur tu ne vois plus la fenêtre que sous la forme d'une tache sombre dans laquelle, tout au plus, se reflète l'intérieur de la chambre.



Préoccupe-toi en premier lieu de faire l'orifice d'entrée de la lumière. Découpe sur le tableau des modèles le petit disque d, et, à l'aide d'un crayon bien pointu, perce un trou au centre du disque à l'endroit repéré en blanc. Le trou doit avoir 0,5 à 1 mm de diamètre.

Pose ensuite ce petit disque — sa face noire vers le haut — dans l'ouverture ronde du cadre de visée 45, assure-le contre la perte à l'aide de l'anneau de retenue pour lentille convergente 61. Voir le croquis ci-contre.



Il faut maintenant préparer la surface de réflexion. Tu découpes un petit morceau dans la lamelle du filtre mat 37, morceau qui doit être parfaitement rond et avoir 18 mm de diamètre. Ce n'est pas difficile : pour te repérer prends simplement une lentille divergente 5, pose-la sur un coin de la lamelle du filtre mat — la face dépolie étant en dessus — et tire un trait avec ton crayon tout autour de la lentille. Seul un bout de la lamelle du filtre est à enlever, afin qu'un morceau de la lamelle le plus grand possible nous reste pour les essais ultérieurs.

Saisis maintenant les deux demi-coquilles de montage coulissante 31 et introduis la petite rondelle découpée dans le filtre mat exactement dans l'étroite rainure de la demi-coquille inférieure, comme indiqué sur le croquis. Ce faisant, veille à ce que la face lisse soit tournée vers le côté où la demi-coquille inférieure porte une gorge x de repérage sur sa face extérieure. Puis, avec précaution, pose la demi-coquille supérieure sur le tout, et de manière à ce que là également le bord de la petite rondelle

découpée du filtre mat soit maintenue dans son étroite rainure. Pour terminer, presse bien ensemble les deux demi-coquilles de montage coulissante, les deux petits tenons latéraux se logeant dans les trous qui leur font face.

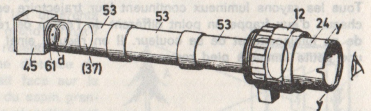
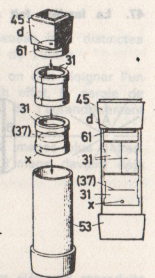
Le tube coulissant 53 fera office de chambre sombre. En effet, les montures coulissantes assemblées permettent d'introduire ce tube jusqu'à l'endroit choisi. Tu prends maintenant cette monture coulissante que tu viens de monter avec la petite rondelle du filtre mat et tu l'enfiles dans le bout lisse du tube coulissant 53, l'extrémité de la monture portant la marque de repère x étant introduite la première. De cette façon, tu es certain que la lamelle du filtre en verre mat repose en bonne place (c'est-à-dire qu'elle sera tournée vers la lumière, lors de l'essai qui va suivre).

Ceci fait, assemble encore une autre monture coulissante composée également de deux demi-coquilles de montage coulissante 31 : elle reste vide bien entendu. Cette deuxième monture coulissante a pour but de garantir un bon écartement entre l'orifice d'entrée de la lumière et la lamelle du filtre mat, et tu l'introduis dans le tube coulissant 53 à la suite de la première monture coulissante. La fermeture de tout est constituée par le cadre de visée 45 et son disque percé en carton, l'épaulement circulaire du cadre étant enfilé dans le tube coulissant, où il fait office de verrouillage en repoussant un peu devant lui les deux montures coulissantes précédemment introduites. Ainsi se trouve terminé le montage de la boîte photographique à trou comprenant : l'orifice de passage de la lumière, la chambre sombre et la surface de réflexion.

Si c'est le soir maintenant, tu peux diriger l'orifice d'entrée de lumière de la boîte vers une lampe éloignée de deux ou trois mètres. La lumière de la lampe tombe alors sur la lamelle de filtre mat à travers l'orifice d'entrée de la lumière. Si, de l'arrière, tu jettes un regard sur l'autre face de la lamelle de filtre mat, tu aperçois une petite image de la lampe et de l'abat-jour illuminé de la lampe, image à l'envers et quelque peu floue.

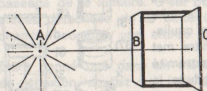
Pendant le jour tu peux diriger l'orifice de passage de la lumière en direction d'une fenêtre. Là aussi tu constates sur la lamelle du filtre mat une image à l'envers et floue, lorsque, placé à l'arrière, tu regardes la lamelle de filtre mat dans le tube coulissant. Cette image montre une perspective venant de la fenêtre sous une forme considérablement rapetissée. Et, de toute façon, cette image est très pâle. C'est pourquoi tu compléteras à l'arrière en y ajoutant encore deux tubes coulissants 53.

En outre, enfila tout d'abord la télé-rallonge 24 (ses deux petits tenons « y » à l'extérieur) dans la pièce universelle de raccordement 12, puis cette dernière sur le renflément (dit cône) du dernier tube coulissant. Le tube a alors une longueur suffisante et il t'est possible de tenir confortablement le gros orifice de la télé-rallonge 24 contre ton œil, puis de contempler sur la lamelle du filtre mat la petite image renversée que tu aperçois à travers le tube assombri ; l'image est maintenant beaucoup plus « contrastée », c'est-à-dire qu'elle apparaît sous de plus fortes différences de luminosité entre les points de vision clairs et sombres.



47. La lumière fait son autoportrait

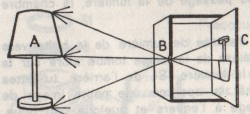
Sur ce croquis tu peux voir comment des rayons lumineux fuient dans toutes les directions, en partant d'une lampe A à fort éclairage mais qui se concentre en un seul point.



Les rayons lumineux frappant le trou B traversent ce trou et tombent sur l'écran de réception C situé en arrière. Du fait que le trou B est très étroit, on voit sur notre croquis qu'un seul rayon lumineux le traverse. A l'endroit où il touche l'écran de réception C il se forme un point lumineux clair, que l'on peut désigner comme étant la représentation du point lumineux constituant la lampe A.

48. Luminosité d'objets dans la boîte à trou.

Tout objet que l'on peut voir projette des rayons lumineux dans toutes les directions à partir de tout point de sa surface. Peu importe que l'objet en question rayonne par lui-même ou qu'il répercute simplement la lumière qui l'éclaire.

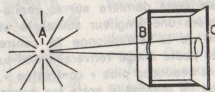


Sur notre croquis tu peux voir une lampe à pied A. Sur trois points de la lampe, à savoir aux bords supérieur et inférieur de l'abat-jour et sur le pied de la lampe, sont signalés de tels rayons partant dans tous les sens et tels qu'ils sont issus, dans la réalité, de toute surface d'objet. De chaque point d'où partent les rayons lumineux chacun d'eux touche chaque fois le trou B de la boîte photographique.

Tous les rayons lumineux continuent leur trajectoire en ligne droite à travers le trou B, chacun d'eux frappe un point différent de l'écran de réception C qu'il éclaire en fonction de sa luminosité et de sa couleur. Il en résulte ainsi sur l'écran C une image montrant une petite lampe à pied renversée.

49. Pourquoi la boîte donne des images floues.

Sur ce croquis, tu peux voir de nouveau la boîte photographique à trou avec la même lampe A formant un unique point, comme au chapitre 47. Mais cette fois le trou B est beaucoup plus grand, de sorte que c'est tout un faisceau lumineux qui atteint l'écran de réception C. Sur ce dernier ce n'est pas seulement un point unique qui s'éclaire mais une plus grande tache que l'on nomme « foyer virtuel ».



Si, près de la première, on plaçait une deuxième lampe formant aussi un point lumineux unique, les rayons lumineux qui en seraient issus ne donneraient pas sur l'écran de réception deux points lumineux l'un à côté de l'autre mais bien deux taches lumi-

neuses se recouvrant partiellement. On ne verrait 2 taches lumineuses bien distinctes que si l'on plaçait les deux lampes à plus grande distance l'une de l'autre.

Plus est grand l'orifice d'entrée de la lumière dans une boîte, plus on doit éloigner l'un de l'autre les éléments qui sont à représenter individuellement. En effet, le cercle de dispersion (foyer virtuel) s'étend constamment en fonction même de l'agrandissement de l'orifice.

Par contre, lorsque l'orifice est prévu plus petit il en résulte des images plus nettes. Mais cela ne peut être réalisé que dans certaines limites, car l'image devient déjà sensiblement plus sombre lorsque l'orifice est plus petit.

50. Une boîte à trou pour grandes images.

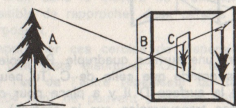
Si l'image ne se présentait pas sous un format si réduit, les divers éléments reproduits se trouveraient plus éloignés les uns des autres. Des zones de dispersion d'éléments voisins ne se recouvrent, dans ce cas, que lorsqu'elles sont plus étendues qu'auparavant. Mais est-il vraiment possible d'obtenir de plus grandes images avec la boîte photographique à trou ?

Reprenant ton appareil du chapitre 46, sors la monture coulissante avec sa lamelle de filtre mat hors du premier tube coulissant, et transfère-la dans le tube coulissant central : elle se trouve encore plus éloignée de l'orifice de pénétration de la lumière. Si, sous cette forme d'assemblage, tu diriges la boîte à trou vers la fenêtre, tu verras les différents éléments représentés réellement plus grands que c'était le cas auparavant. Néanmoins, cela ne donne pas une image plus nette, car les raies sont aussi floues qu'avant. Et cela ne sert à rien qu'elles appartiennent maintenant à des éléments reproduits en plus grand format.

En outre, l'image est devenue plus sombre, naturellement ; car, en effet, la distance du trou à l'image est devenue plus grande.

Comment cela se fait-il alors que les différents éléments sont représentés en plus grand format ?

Si, sur notre croquis, l'écran de réception D à droite était exactement à la même distance du trou B que le sapin A qui lui fait face sur la gauche, il en résulterait une image du sapin grandeur nature. Mais lorsque l'écran de réception est situé plus près du trou d'entrée de la lumière B, c'est-à-dire en C, le faisceau lumineux dans ce cas ne s'est pas encore ouvert assez et la reproduction de l'image est plus petite.



Tu peux d'ailleurs calculer toi-même dans quelle mesure la reproduction est plus petite si par exemple l'arbre est à une distance de 20 m de l'orifice B (soit 2000 cm), et que par contre l'écran de réception ne soit qu'à 2 cm seulement derrière l'orifice B (soit à 1/1000 de la distance du trou de l'arbre), la représentation de l'arbre, dans ce cas, ne sera aussi que de 1/1000 de sa hauteur réelle.

Au surplus, tu peux calculer une hauteur quelconque d'image (la grandeur à laquelle un objet est reproduit), si tu connais la distance de l'image (soit l'écart entre l'orifice et l'écran de réception) d'une part, et la distance de l'objet (soit la distance entre l'orifice et l'objet qui doit être reproduit) d'autre part.

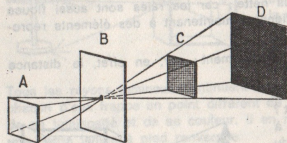
Il va de soi que toutes les distances doivent être intégrées dans le calcul sous la même unité de mesure, en centimètres par exemple. Le calcul lui-même est très simple :

$$\text{Hauteur de l'image} = \frac{\text{hauteur de l'objet} \times \text{distance de l'image}}{\text{distance de l'objet}}$$

Ultérieurement d'ailleurs, tu auras l'occasion d'appliquer cette formule à d'autres appareils.

51. Voici pourquoi les images plus grandes apparaissent plus sombres

Lors de l'essai fait au chapitre précédent avec la boîte à trou, la plus grande des images avait un aspect sombre, quoique rien n'eût été changé au trou de passage de la lumière. Comment se fait-il alors que, dans ces conditions, la dimension de l'image ait une influence sur sa luminosité ?



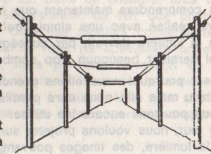
Tu remarqueras sur notre croquis un petit carré C. Il constitue une reproduction de la face A fortement éclairée en face du trou de passage de la lumière B. Si l'on double la distance entre le trou B et la face C, il en résulte une image au point D. Cette dernière image est — comme tu peux le calculer suivant la formule du chapitre précédent — un carré comportant des côtés de longueur double de ceux représentés auparavant sur le carré C. Mais un carré ayant des côtés de longueur double comporte alors une surface quadruple. Par voie de conséquence la surface de D est quatre fois plus grande que celle de C. Tu peux facilement t'en rendre compte sur le croquis : sur la surface D il y a place pour quatre carrés de la grandeur de C (voir les fines lignes transversales sur le croquis).

Etant donné que c'est toujours le même volume de lumière qui traverse le trou de passage, cette lumière qui, précédemment, n'avait à éclairer que la face C, se disperse maintenant sur la surface D quatre fois plus grande. Par conséquent l'image D sur toute sa surface ne comporte plus qu'un 1/4 de l'éclairage et de la luminosité comparativement à C. On peut aussi le résumer ainsi : l'image C est quatre fois plus lumineuse que celle de D.

Tu peux donc prendre note que : la distance d'une image étant multipliée par deux, il ne reste sur toute la surface de cette image, qu'un quart seulement de la luminosité initiale ; et la distance de l'image étant multipliée par trois, il ne subsiste qu'un neuvième de la luminosité (par le fait que le carré à triple longueur des côtés comporte une surface neuf fois plus grande), etc.

52. Prenons congé de la boîte photographique à trou.

Tu peux d'ailleurs observer l'inverse de cette règle, sur une succession de lampes au néon de même intensité et se suivant à égales distances, sur une route par exemple. Quoique les lampes se situent par rapport à toi à des distances différentes, elles t'apparaissent d'une égale luminosité. Voilà qui paraît être en contradiction avec la règle énoncée ci-dessus. Mais si tu y penses un instant, tu saisisiras rapidement pourquoi il en est ainsi : les lampes suspendues loin à l'arrière-plan t'apparaissent en effet plus petites que les lampes suspendues à l'avant-plan. La surface de laquelle s'élanche le flux lumineux toujours constant, se concentre de plus en plus pour ta vue en fonction de l'éloignement même de la lampe.



Ainsi en reviens-tu à l'inversion de la règle évoquée plus haut : Une lampe suspendue loin de toi, à une distance double de celle d'une autre lampe de même nature, t'apparaît comme n'étant que moitié moins loin et sous une surface réduite à 1/4 de la réalité.

52. Prenons congé de la boîte photographique à trou.

Si tu cherches à améliorer la netteté de l'image que donne la boîte, soit par éloignement de l'image, soit par diminution de l'orifice de passage de la lumière, il n'en résulte pas moins que l'image devient déjà trop sombre avant même que tu aies obtenu un gain sensible dans la netteté. C'est pourquoi la question se pose de savoir quel degré de netteté une image doit avoir pour que la sensation de perception soit bonne et qu'elle n'ait plus un aspect flou.

Comme tu le sais déjà du chapitre 49, la netteté d'une image que peut donner une boîte à trou est dépendante du plus petit cercle de dispersion (divergence) qu'elle est à même de reproduire. La netteté de l'image croît dans la mesure où s'amenuise le diamètre du cercle de dispersion, car il est possible de rapprocher deux cercles de dispersion voisins sans pour cela qu'ils se superposent.

Cela n'a naturellement aucun sens de faire se rapprocher ces cercles de dispersion, s'ils ont l'aspect de deux points que l'œil peut tout juste distinguer. On a fait la constatation que des traits éloignés de 0,08 mm l'un de l'autre (épaisseur du trait 0,04 mm — espace entre deux traits également 0,04 mm) ne peuvent plus être différenciés par l'œil, mais qu'ils se fondent en une ligne grise lorsqu'ils sont observés à partir d'une distance de 25 cm.

Pour que deux cercles de dispersion puissent encore être vus séparément, ils doivent naturellement se situer à plus de 0,08 mm l'un de l'autre à savoir 0,15 mm. Du fait que pour des cercles identiques se touchant, l'écart de leurs centres est le même que leurs diamètres, nous obtiendrions ainsi une image d'une netteté suffisante si le diamètre des cercles de dispersion se montait à 0,15 mm.

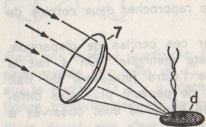
Etant admis dans ce cas, cela va sans dire, que l'image est observée à une distance de 25 cm, hypothèse que l'on peut d'ailleurs admettre, parce que cette distance a toujours été considérée comme étant la bonne portée visuelle lorsqu'un objet proche doit être vu avec précision. Le spécialiste dit qu'une portée visuelle est nette lorsqu'elle comporte 250 mm ; car il indique toujours les cotes de longueur en millimètres.

Tu comprendras maintenant que le cercle de dispersion de 0,15 mm exigé ne peut pas être réalisé avec une simple boîte à trou, parce que le diamètre du trou de passage de la lumière devrait, par conséquent, avoir aussi 0,15 mm. Il en résulterait des images qui seraient beaucoup trop sombres à observer.

C'est pourquoi nous allons prendre définitivement congé ici de la boîte photographique à trou mais elle nous aura permis d'acquérir un si grand nombre de connaissances que nous pourrions encore les utiliser par la suite avec grand profit. Si, à la lumière normale du jour, nous voulons projeter sur une lamelle de filtre dépoli, voire sur un film sensible à la lumière, des images pouvant être observées ou photographiées, nous devons pour cela nous soucier de faire percer le trou de passage de la lumière à un diamètre sensiblement plus gros, et ce, sans que le cercle de dispersion ne s'étende plus que nécessaire. Par conséquent, nous devons diriger nos recherches vers une solution qui permettrait de faire fusionner un épais faisceau lumineux en un seul point.

53. La lentille convergente fait office de loupe.

Prends donc dans le coffre la lentille convergente 7 et emporte-la au soleil de midi. Peut-être ne sais-tu pas entre les deux grosses lentilles quelle est la lentille de convergence : toutes les lentilles convergentes sont reconnaissables au fait qu'elles sont plus épaisses au centre que sur le bord. Tiens maintenant la lentille un peu obliquement, de manière à ce que l'une de ses faces soit entièrement frappée par les rayons du soleil. Si tu tiens alors derrière la lentille une feuille de papier à 5 ou 6 cm de distance, tu remarqueras que les rayons convergent en un seul point derrière la lentille, c'est le point d'inflammation (dit foyer ou focus).

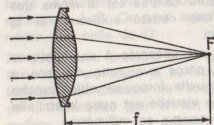


La plupart des rayons sont rejetés par le papier blanc. C'est pourquoi l'éblouissement est intense lorsque tu regardes le point d'inflammation. Prends alors, en lieu et place de papier blanc, la face noire du petit disque de carton d (à découper dans le tableau des modèles), tu verras que l'éblouissement n'est plus si fort, car la surface noire absorbe les rayons et ne les réfléchit pas. De toute façon, il se produit un échauffement. Si le soleil n'est pas trop bas à l'horizon, tu pourras bientôt voir s'élever du point d'inflammation un fin filet de fumée ; le petit disque de carton noir s'est enflammé.

Lorsque, en été, le soleil est haut dans le ciel, tu peux utiliser la grosse lentille convergente comme une loupe avec laquelle tu as la possibilité de pyrograver des lettres ou des symboles à la surface d'objets en bois.

Sur le croquis ci-contre, tu peux voir comment les rayons lumineux arrivant parallèlement sont déviés (diffractés) par la lentille convergente, de telle manière qu'ils se rassemblent (convergent) sur le point d'inflammation F.

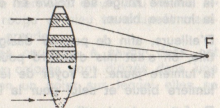
La distance entre la lentille et le point d'inflammation s'appelle : distance focale (f), cette distance est courte lorsque les faces des lentilles sont fortement bombées (convexes).



54. Comment une lentille convergente réfracte les rayons lumineux.

Tu connais déjà le terme d'inflammation par le chapitre 22. Dans ce chapitre, tous les rayons lumineux tombant sur un miroir concave se rencontraient, du fait que chacun d'entre eux était réfléchi sur le point d'inflammation. Chez les lentilles convergentes, le changement de direction désiré n'est pas obtenu par le rejet (le spécialiste appelle cela « réflexion ») à partir d'une surface miroitante, mais par une réfraction de la lumière (cassure), c'est-à-dire par déviation du rayon lumineux lors de la traversée d'un corps transparent comportant des faces obliques l'une à l'autre. Une telle réfraction de la lumière (comme l'appelle le spécialiste) t'est déjà connue par les chapitres 26 et 36.

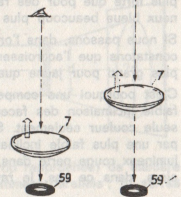
Tu sais aussi, depuis le chapitre 22, comment on peut constituer un miroir concave à l'aide d'un grand nombre de miroirs individuels. Une lentille convergente, par contre, on la conçoit comme étant elle-même formée d'un grand nombre de prismes isolés. Les rayons lumineux frappant le bord de la lentille doivent naturellement se casser plus fortement que ceux traversant la lentille à proximité de son centre, condition nécessaire pour qu'ils convergent tous ensemble sur un même point. C'est pourquoi, les faces des « prismes individuels » situés tout à l'extérieur sont inclinées plus fortement l'une par rapport à l'autre. Ceci explique pourquoi les lentilles convergentes s'amincissent de plus en plus en direction du bord. Exactement au centre de la lentille un rayon la traverse sans être brisé ; à cet endroit, précis, la lentille fait office de plaque transparente à faces parallèles.

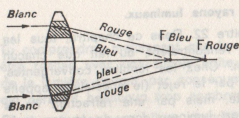


55. Les bords que nous voyons sont colorés.

Pose donc un petit obturateur II (un de ces deux petits obturateurs 59 comportant un gros trou de 10 mm et qui ont l'aspect d'un anneau) sur un morceau de papier blanc devant toi, et tiens la lentille convergente 7 à environ 3 cm au-dessus du papier. Si ton œil se situe à environ 16 cm au-dessus de l'obturateur, tu peux voir l'anneau obturateur encore tout entier dans la lentille. Mais approche maintenant la lentille lentement vers ton œil. Lorsqu'elle se trouve à environ 4,5 cm au-dessus de l'anneau obturateur, elle le recouvre presque complètement, et tu peux apercevoir un mince filet coloré rouge-jaune encerclant le bord extérieur de l'anneau obturateur. Si tu lèves encore un peu plus la lentille, tu peux constater alors que le cercle intérieur de l'anneau obturateur s'étend de plus en plus et prend l'aspect d'un ourlet coloré bleu.

Si tu places maintenant ton œil à environ 40 cm au-dessus de l'anneau obturateur, tu pourras voir — en continuant à lever la lentille — que l'anneau commence à disparaître entièrement vers l'extérieur, puis, après un moment — lorsque la lentille se trouve à environ 9 cm au-dessus de l'anneau obturateur — tu verras qu'il revient du bord vers le centre ; à ce moment, l'ourlet coloré rouge-jaune paraît être situé à l'intérieur et l'ourlet bleu, lui, semble placé à l'extérieur autour de l'anneau obturateur.





Il est remarquable que l'on puisse voir des bords colorés, tout en observant un objet noir à la lumière blanche et devant un arrière-plan blanc.

Mais l'énigme trouvera sa solution, si tu te souviens de ce qui a été dit au chapitre 36. Tu comprendras alors que la déviation subie par la lumière dans la lentille comporte — rigoureusement parlant — un angle tout différent pour chaque couleur. Par conséquent, une lentille possède des distances focales

différentes à l'égard de couleurs lumineuses diverses. Le foyer de lentille pour la lumière rouge se trouve en effet plus éloigné de la lentille que ce n'est le cas pour la lumière bleue.

D'ailleurs, afin de pouvoir désigner une distance focale bien déterminée pour une lentille, on s'est mis d'accord pour mentionner toujours des distances focales relatives à la lumière jaune. Le foyer de lentille pour la lumière jaune se situe entre celui pour la lumière bleue et celui pour la lumière rouge.

Du fait que les lentilles convergentes ne concentrent sur le foyer que les rayons lumineux de même couleur tombant parallèlement (rayons incidents), on désigne par le terme : « aberration chromatique d'une lentille convergente », la divergence des foyers de lentilles relative à la lumière des différentes couleurs.

56. Correction des couleurs.

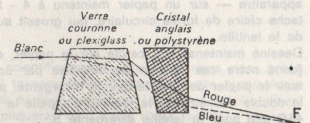
Des rayons lumineux blancs traversant un prisme sont déviés par ce dernier et dédoublés en rayons lumineux colorés qui quittent le prisme dans une autre direction puis se dispersent en éventail. Mais si, ensuite, on fait passer les rayons lumineux colorés à travers un même prisme, ce dernier étant renversé, ces rayons sont tous réfractés à nouveau et reprennent leur direction primitive, les uns à côté des autres toutefois.

Considérons maintenant un deuxième prisme en une matière optiquement plus dense ; de cette façon, il sera possible d'en augmenter la plus forte réfraction en prévoyant une inclinaison plus faible de ses faces les unes envers les autres. Comme nous le savons par le chapitre 36, la densité optique d'une matière n'est cependant pas pareille pour tous les rayons lumineux colorés. Le freinage à un degré différent qu'une matière fait subir à des rayons lumineux de couleurs diverses, ne peut être résumé qu'en disant qu'une matière donnée comporte une densité optique différente pour chacune des couleurs. Ainsi la densité optique d'une matière pour des rayons lumineux jaunes est plus forte que pour des rayons lumineux rouges, et de nouveau pour des rayons lumineux bleus beaucoup plus forte que pour les jaunes.

Si nous passons, dans l'ordre, d'une matière à une autre optiquement plus dense, nous constatons que l'accroissement en densité est plus grand pour bleu que pour jaune et plus grand pour jaune que pour rouge.

C'est pourquoi une compensation à l'augmentation de densité, en prévoyant une plus faible inclinaison des faces, ne peut toujours être obtenue que pour la lumière d'une seule couleur seulement. Si nous égalisons la plus forte densité du deuxième prisme par une plus faible inclinaison des faces, par exemple de manière à ce que le rayon lumineux rouge parte dans sa direction primitive après avoir quitté le deuxième prisme, alors, dans ce cas, le rayon bleu sera dévié plus fortement et sa trajectoire ne se

situera pas à côté de celle du rayon rouge, mais au contraire elle s'en rapprochera seulement jusqu'à ce que — finalement — elle la coupe derrière le prisme. A ce point-là de l'intersection les rayons lumineux rouge et bleu se concentreront à nouveau en une lumière blanche.



Choisissons donc une inclinaison un peu plus forte des faces du deuxième prisme les unes envers les autres. Dans ce cas le rayon lumineux rouge ne sera pas complètement réfracté à nouveau dans sa direction initiale, le rayon lumineux bleu s'en rapprochera — ne serait-ce qu'un peu moins — mais suffisamment toutefois pour que rayons lumineux rouge et bleu se coupent maintenant derrière le prisme à une distance un peu plus grande.

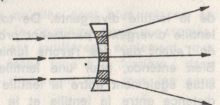
Nous avons obtenu ainsi la correction pour deux des couleurs, à savoir dans cet exemple pour bleu et rouge : les deux rayons lumineux colorés sont dirigés dans une nouvelle direction, et il en résulte après cette déviation un point sur lequel elles se réunissent à nouveau en une lumière blanche.

Comme prismes de verre, on utilise les deux modèles de verres : kronglas (verre de couronne) pour le premier, et flintglas (cristal anglais) pour le deuxième optiquement plus dense. Si les prismes sont en matière synthétique, le plexiglas convient mieux à la place du kronglas et le polystyrène à la place du flintglas.

Pour le cas où il ne s'agit pas de corriger seulement un simple prisme mais une lentille convergente complète, on doit alors prévoir un prisme correcteur correspondant à chaque « prisme partiel » de la lentille convergente.

Les prismes correcteurs individuels donnent, une fois assemblés, une lentille qui est plus mince au centre que sur le bord ; car, et par comparaison avec la lentille convergente, les prismes partiels possèdent des faces inclinées qui s'opposent l'une l'autre.

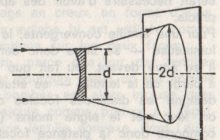
Comme le montre notre croquis, il en résulte pour ainsi dire une lentille divergente (de dispersion) qui précisément disperse en forme d'éventail des rayons lumineux arrivant parallèlement.



57. Nous déterminons la distance focale d'une lentille divergente.

Tout d'abord tu seras surpris d'apprendre qu'une lentille divergente peut même comporter une distance focale, à laquelle non seulement elle ne concentre pas les rayons en un foyer, mais au contraire les disperse.

Lorsque tu auras terminé l'essai qui va suivre, à savoir déterminer la distance focale d'une lentille divergente, tu comprendras ensuite ce qu'il en est de cette question. Prends dans le coffret une lentille divergente 5 (elle est plus mince au centre que sur le bord) et mesure son diamètre avec la règle ou l'échelle graduée de la page 4 du présent guide. Le diamètre mesure 1,8 cm (ou, comme disent les spécialistes qui mesurent tout en millimètres, il mesure 18 mm).

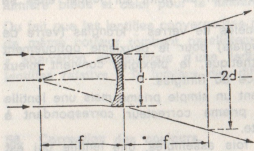


Fais alors briller le soleil sur la lentille (ou une lampe pas trop rapprochée) de manière à ce que les rayons qui arrivent aient une trajectoire suffisamment parallèle ; tu verras

apparaître — sur un papier maintenu à 4 - 5 cm derrière la lentille divergente — une tache claire de forme circulaire, qui grossit au fur et à mesure que tu éloignes le papier de la lentille.

Dessine maintenant un cercle sur le papier, d'un diamètre double de celui de la lentille (dans notre cas 36 mm de diamètre par conséquent). La distance à laquelle tu dois tenir le papier derrière la lentille divergente, pour que la tache claire atteigne exactement le double diamètre de la lentille, s'appelle la distance focale de la lentille. Elle comporte 43,9 mm pour la lentille divergente 5.

La détermination des distances focales de lentilles divergentes se fait plus facilement, si tu reproduis la surface sur laquelle le cercle de dispersion (à savoir la tache claire) doit se dessiner. Pour ce faire, coupe un trou du diamètre de la lentille (sur une plaque de carton aussi grande que possible) et dispose la lentille dans ce trou. Ceci fait tu peux aussi mesurer — de la manière décrite — la distance focale de la grosse lentille de divergence 8. Tu la tiendras de préférence sur son plus gros diamètre face à la lumière.



Sur le croquis suivant, tu peux voir maintenant la distance entre la lentille divergente et son diamètre d , et le cercle de dispersion avec son double diamètre $2d$, distance désignée en tant que distance focale f . Si tu prolonges vers l'arrière à gauche les rayons obliques défléchis sur la droite, ils se rencontrent alors sur le point F. Bien que le point F ne soit qu'un point imaginaire, qui, lui, ne peut pas être mesuré, par le fait que ne se rencontrent sur ce point que les prolongements imaginaires vers l'arrière des rayons réels, ce point F n'est pas moins considéré comme foyer

de la lentille divergente. De toute manière, tous les rayons qui sont réfléchis par la lentille divergente paraissent provenir de ce point F, lorsque la lentille est frappée juste de l'avant par des rayons lumineux parallèles.

Bien entendu, pour une lentille divergente, la distance focale f proprement dite se situe également entre la lentille et le foyer F. Nous avons désigné également par f la distance entre la lentille et le centre de dispersion à double diamètre de lentille, et cela uniquement pour la raison que cette distance est exactement la même que la distance focale f proprement dite et qu'elle peut vraiment être mesurée. Vu que F est un point imaginaire la distance focale d'une lentille divergente ne peut donc pas être mesurée directement, mais être déterminée uniquement par des détours, comme le présent exemple. Comme résultat de notre mesure nous n'obtenons, cela va sans dire, qu'une valeur approchante. Pour en faire une détermination tout à fait précise, il serait nécessaire d'avoir des appareils spéciaux de mesure et de procéder à un calcul précis.

Pour une lentille convergente, le foyer (point d'inflammation) — vu à partir de la source lumineuse — se situe donc derrière la lentille, alors que, pour une lentille divergente, il se situe devant. Du fait que le foyer de lentilles divergentes — vu par conséquent à partir de la lentille — se situe à l'opposé de la direction de la lumière incidente, on désigne les distances focales de lentilles divergentes comme étant « négatives » et on leur met le signe moins (-) devant le chiffre. Notre lentille de divergence 5 comporte donc la distance focale $F = -43,9$ mm.

Afin que la différenciation soit bien faite, on peut mettre le signe plus (+) devant les données des distances focales de lentilles convergentes. La grosse lentille convergente 7 de notre boîte a donc, écrite de cette façon, une distance focale de $f = +61,1$ mm — mais, s'il n'est pas indiqué de signe plus ou moins, il s'agit alors d'une lentille convergente.

58. Qu'est-ce qu'une lentille convexe ?

Qu'est-ce qu'une lentille concave ?

Le titre de ce chapitre sonne quelque peu scientifiquement ; mais ne crains rien, grâce au petit truc que je te révélerai à la fin, il te sera facile d'assimiler cette terminologie technique. Tes amis seront étonnés lorsque tu leur montreras la grosse lentille divergente 8 et que, d'un air détaché, tu leur expliqueras qu'il s'agit d'une lentille « convexe-concave » qui se différencie d'une lentille « concave-convexe » par ce fait qu'elle est plus mince en son centre que sur le bord. Regarde maintenant quelles sont ces différences, les lentilles sur les croquis te les montrant avec précision.

La ligne d'en haut sur le croquis expose différentes sortes de lentilles convergentes. Pour chacune des lentilles convergentes du croquis, on a dessiné des rayons lumineux parallèles venant de la gauche et qui se concentrent chaque fois en un seul foyer, à droite derrière les lentilles. Un examen attentif te permettra de constater que toutes les lentilles du croquis sont plus épaisses en leur centre que sur le bord, aussi différent que soit leur aspect extérieur.

Tu remarqueras, en outre, que la deuxième et la troisième lentille sont identiques, sauf que pour l'une c'est la face bombée et pour l'autre la face plane qui fait face à la lumière. Il en est de même pour les deux dernières lentilles de cette ligne. Tu constates ainsi que les rayons lumineux tombant parallèlement sur des lentilles convergentes se réunissent toujours en un foyer derrière chacune d'elles, et cela indifféremment de la face qu'elles exposent à la lumière.

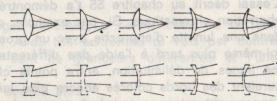
Pour les lentilles divergentes, c'est une règle générale qu'elles sont plus minces en leur centre que sur le bord. Cela se voit clairement sur la deuxième ligne du croquis. Tu peux voir en outre sur cette deuxième ligne, qu'il est indifférent également, que ce soit un côté ou l'autre des lentilles divergentes qui fasse face à la lumière ; dans chaque cas les rayons lumineux parallèles incidents se dispersent dans tous les sens derrière les lentilles.

Cela t'intéressera certainement de savoir quelles sont les appellations que les spécialistes professionnels donnent aux différentes sortes de lentilles. Les lentilles convergentes sont désignées la plupart du temps par « lentilles positives » et les lentilles divergentes par « lentilles négatives ». Mais cela ne suffit pas toutefois pour personnaliser avec exactitude l'une ou l'autre des lentilles du croquis. Pour ce faire, on doit employer une terminologie technique, caractérisant avec plus de précision le bombage des lentilles.

Un bombage renflé, bosselé, est dit convexe, un bombage en creux, en forme d'auge, est dit concave ; une surface plate est dite plane et la syllabe bi est utilisée comme préfixe pour désigner des lentilles de conformation identique sur les deux faces.

Les lentilles convergentes sont épaisses en leur centre, parce que sur ces lentilles le bombage convexe est particulièrement marquant. C'est pourquoi aussi on les nomme lentilles convexes. Leur deuxième face plus faiblement bombée est alors incluse dans la désignation, par le fait que le terme de bombé est ajouté comme préfixe à l'appellation de la lentille. Ainsi une lentille plan-convexe est une lentille convexe, dont l'autre face est plane (deuxième et troisième lentille de la ligne du dessus), et une lentille concave-convexe est une lentille convexe, dont l'autre face est concave (les deux dernières lentilles de la ligne supérieure du croquis).

Les lentilles divergentes sont minces en leur centre, parce que, sur ces lentilles, la cavité concave est particulièrement marquante. C'est pourquoi on les nomme lentilles



concaves. Ici également la désignation pour leur deuxième face plus faiblement creusée l'est sous forme d'un préfixe. La ligne inférieure du croquis montre que les lentilles deux et trois sont des lentilles plan-concaves alors que les deux dernières sont des lentilles convexe-concaves.

La première lentille de la ligne supérieure est naturellement une lentille bi-convexe, et la première lentille de la ligne inférieure est une lentille bi-concave.

Tout serait bien simple, diras-tu, si les termes convexe et concave ne prêtaient pas trop à confusion. Mais là il existe un petit truc de repérage, qui naturellement n'est pas bien scientifique et que tu feras mieux de garder pour toi : « Dans un objet creux on peut verser du café. Ne remarques-tu pas que le début du mot café sonne comme la fin du mot concave. Concave étant creux, tu n'as qu'à te figurer que quelqu'un verse du café dans un objet creux et tu ne confondras plus concave et convexe. »

59. Assemblons notre grosse lentille achromatique.

L'essai décrit au chapitre 55 t'a démontré que des lentilles séparées comportaient une aberration chromatique. Si, par exemple, on incorporait la grosse lentille convergente 7 dans une lunette d'approche avec un grossissement de 15 fois, comme tu l'assembleras toi-même plus tard à l'aide des différents tubes et des 6 lentilles de ta boîte, toutes les lignes de délimitation, entre points clairs et points sombres de l'image observée, seraient des bords colorés encore plus larges que ce n'était le cas au chapitre 56 pour l'anneau-obturateur examiné à travers la lentille séparée. Ainsi que tu l'as vu à ce chapitre 56, l'aberration chromatique d'une lentille convergente peut être compensée par une lentille divergente correspondante. C'est pourquoi la grosse lentille divergente 8 a été calculée exactement pour qu'elle fasse office de lentille correctrice et élimine l'aberration chromatique de la grosse lentille convergente 7, si les deux lentilles sont incorporées ensemble et correctement. Lorsqu'une lentille convergente et sa lentille divergente qui lui a été adjointe comme correctrice ont été assemblées en une seule lentille globale, on désigne alors par lentille achromatique la dite lentille globale à correction de couleurs.

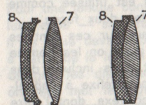
Afin que, lors de l'assemblage des lentilles, il ne t'arrive pas une mésaventure, il est préférable que tu lises tout d'abord ce chapitre de bout en bout, avant de commencer le montage.

Premièrement, examine bien le croquis pour savoir lesquelles des deux faces des lentilles doivent — après le montage — se situer à l'intérieur et lesquelles à l'extérieur. Puis assure-toi en particulier que les faces intérieures — qui ne te sont plus accessibles après l'assemblage — soient bien propres.

Un examen attentif te fera constater que la grosse lentille divergente 8 comporte une rainure sur le bord de la face creuse. Vérifie que cette rainure soit bien dégagée tout autour, afin que le bord saillant qui comporte la grosse lentille convergente 7 sur le pourtour d'une de ses faces ait une bonne assise et porte bien partout, car ce bord doit précisément s'emboîter dans cette rainure de la lentille 8 au moment de l'assemblage des deux lentilles.

Pose maintenant les deux lentilles l'une sur l'autre (sans enfoncer, les tenir sur les bords seulement) et de façon à ce que le bord de l'une se situe au-dessus de la rainure de l'autre. Puis presse un peu les deux lentilles l'une contre l'autre, avec précaution, jusqu'à ce qu'elles adhèrent bien.

50



Pour obtenir plus tard la meilleure qualité de l'image, il est important que les deux lentilles ne soient pas assemblées de biais mais au contraire qu'elles portent bien exactement l'une sur l'autre, le bord devant être entièrement enfoncé tout autour. Les deux lentilles adhérant bien entre elles, dépose-les maintenant sur un mouchoir propre, bien repassé, pas chiffonné et plié en longueur, et comprime alors les deux lentilles, avec précaution mais fermement, entre les paumes de tes mains fermées. Evite de faire glisser le mouchoir sur les lentilles.

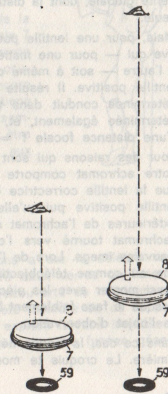
60. Nous faisons l'essai de notre grosse lentille achromatique.

Le montage de notre lentille achromatique terminée, celle-ci, avec ses faces légèrement bombées, paraît être une simple lentille convergente à grande distance focale. En réalité, nous allons bien ultérieurement l'utiliser comme telle, car, dans ce cas, nous tirerons profit au maximum de l'avantage représenté par une lentille convergente exempte d'aberration chromatique.

Que l'achromat soit composé de deux lentilles, tu peux en faire la constatation dès maintenant si, devant un arrière-plan sombre, tu jettes un regard sur sa petite face extérieure faiblement bombée et constates que quelque chose brille à l'intérieur. Pour faire cet essai, c'est une lampe d'intérieur éloignée d'environ un mètre qui convient le mieux.

Avec une lentille séparée tu verrais deux images reflétées, à savoir celle de la face avant et celle de la face arrière de la lentille. Avec ton achromat, tu vois, par contre, trois images reflétées. Qui plus est, celles-ci sont de grandeurs différentes et l'une d'elles est inversée.

Lorsque l'achromat est observé de la manière décrite plus haut, la plus grande des trois images reflétées est issue de la face avant de la lentille sur laquelle tu regardes. L'image reflétée de grandeur moyenne provient de la face arrière de la lentille achromatique, laquelle opère naturellement vers l'avant comme un miroir concave. Lorsque des objets éloignés sont reflétés dans un miroir concave, leur image est à l'envers et semble flotter devant le miroir concave (soit au point où les rayons renvoyés par le miroir concave se croisent). C'est pour cette raison que l'image reflétée, de grandeur moyenne, se trouve renversée. Si tu regardes attentivement et déplaces un peu l'achromat, tu verras alors comment cette image reflétée paraît vraiment flotter devant l'achromat. Par exemple, en approchant la pointe d'un crayon de la face supérieure de l'achromat, tu vois, si la pointe est assez proche de la face, comment la face tout à l'arrière de la lentille projetée devant elle une image droite et agrandie, comme tu le sais déjà par le chapitre 20 au sujet du miroir concave. Dans ces conditions, l'image est naturellement d'un aspect pâle et flou. La plus petite des trois images reflétées provient de la surface limite entre les deux lentilles. Lorsque, placé un peu de côté, tu regardes avec attention, tu remarques alors que l'image a un double contour. Les deux faces de lentilles à l'intérieur de l'achromat ne se touchent pas en effet, car il subsiste un faible écartement entre elles, cet écart étant d'une fraction de millimètre. De ce fait il résulte en réalité deux images reflétées, mais qui se recouvrent presque, vu leur proximité, et qui font l'effet d'une unique image reflétée lorsque l'observation n'est que superficielle.



Lorsque tu auras vérifié si l'achromat — observé de tous les côtés — possède un bord d'une épaisseur bien régulière — ce qui est fonction de l'écartement des deux extrémités auxquelles finissent les faces bombées des lentilles —, tu voudras certainement te convaincre que l'achromat ne comporte vraiment pas d'aberration chromatique, en comparaison d'une lentille séparée.

Le mieux sera que tu procèdes au même essai, comme déjà fait au chapitre 55. Toutefois, tu devras choisir des écarternements plus grands, car l'achromat possède une distance focale plus longue ($f = +131$ mm) par rapport à la grosse lentille convergente 7 seule.

61. Notre grosse lentille achromatique - En avant et en arrière.

Par le chapitre 56, tu es au courant que pour la correction de couleurs d'un prisme en Plexiglas on utilise un prisme en polystyrène. Si je te dis que la grosse lentille convergente 7 est faite en Plexiglas, tu pourrais penser que la grosse lentille divergente 8 est, elle, en polystyrène, parce que son rôle dans le gros achromat est de corriger les couleurs de la grande lentille divergente 7.

La lentille positive de notre gros achromat, par conséquent la grosse lentille convergente 7, possède une distance focale relativement courte.

Afin que l'achromat ait encore au total l'efficacité d'une lentille convergente, il est nécessaire que la distance focale de la lentille négative, par conséquent de la grosse lentille divergente 8 — soit plus grande. Mais alors, l'action de la lentille négative est plus faible que la lentille positive.

On pourrait alors assembler une lentille positive, bien déterminée, faite en plexiglas, avec un grand nombre de différentes lentilles négatives en polystyrène, et comportant une plus grande distance focale. De toute façon, il en résulterait une lentille convergente globale, dont la distance focale serait plus grande que celle de la lentille positive seule.

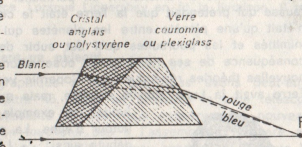
Mais, pour une lentille positive, déterminée, il n'y a toujours qu'une seule lentille négative qui — pour une matière donnée et écartement des deux lentilles l'une par rapport à l'autre — soit à même de corriger pour deux couleurs l'aberration chromatique de la lentille positive. Il résulte de ceci que la correction de couleurs d'une lentille positive déterminée conduit dans tous les cas à une lentille achromatique de distance focale déterminée également, et, dans le cas présent, justement à une lentille achromatique d'une distance focale $f = +131$ mm.

Pour des raisons qui sont en rapport avec la qualité de l'image la lentille positive de notre achromat comporte deux faces de cambrure différente. Tu comprendras donc que la lentille correctrice doit avoir une de ses cambrures s'adaptant à la face de la lentille positive puisqu'elle doit s'y ajuster. C'est cela qui explique que les faces extérieures de l'achromat sont bombées à un degré très différent. Suivant le côté de l'achromat tourné vers l'objet à observer, il en résulte une meilleure ou une plus mauvaise image. Lors de l'utilisation de notre gros achromat dans des lunettes d'approche ou comme téléobjectif pour l'appareil photographique « Reflex » — que tu peux aussi monter avec les pièces détachées de ta boîte Optique —, l'image est la meilleure lorsque la face faiblement bombée (celle qui a le petit diamètre) est tournée en direction de l'objet d'observation.

Dans ce cas, la lentille négative se situe devant et est touchée en premier lieu par la lumière. Le croquis te montre comment, dans ce cas aussi, se réalise une correction

de couleurs, et comment la marche des rayons se déroule pour un rayon rouge et pour un rayon bleu, lorsque la lumière touche en premier lieu le prisme polystyrène.

Dans ce dernier, la lumière blanche incidente est alors décomposée en rayons lumineux colorés qui se dispersent. Ensuite débute dans le prisme Plexiglas la concentration des rayons lumineux colorés, concentration qui — après la sortie hors de ce deuxième prisme et la déviation qui en a été la conséquence — se renforce encore jusqu'à ce que les deux rayons se rejoignent à la distance voulue derrière le prisme, se réunissant pour recomposer de la lumière blanche.



Naturellement il existe d'autres types de lentilles achromatiques (la plupart en verre), qui sont calculées de telle manière que la lentille positive soit située devant.

62. La lunette d'approche la plus simple.

Au XVI^e siècle, plus d'un fabricant de lunetterie avait constaté que l'on pouvait voir des objets lointains sous une forme agrandie, lorsqu'on tient devant les yeux 2 verres de lunettes correspondant et à une distance convenable l'un de l'autre. Tu peux faire cet essai facilement. Tiens devant ton œil une lentille divergente 5 avec sa face creuse tournée vers toi, puis regarde à travers elle sur la face plane — tenue à environ 3 cm — d'une lentille convergente carrée 47. A l'instant où tu modifies lentement la distance entre les deux lentilles, tu vois tout à coup que des objets lointains s'agrandissent un peu.

Si en lieu et place de la lentille convergente carrée tu prends la grosse lentille achromatique (composée de la lentille convergente 7 et de la lentille divergente 8), l'achromat devant être tenu à environ 9 cm devant la lentille divergente 5 (utilisée comme lentille oculaire), tu te rends compte alors que les objets sont vus encore plus grands. De toute façon l'image n'est bonne que si tu ne tiens pas les lentilles de biais. C'est pourquoi il est préférable d'assembler ces deux lentilles en une vraie lunette d'approche pouvant être montée avec les tubes de ton coffret. Nous allons le voir aux chapitres 64 et 65.



63. Le premier astronome au monde.

qui a utilisé la lunette d'approche pour ses expérimentations a été le célèbre naturaliste italien Galilée Galilei. En l'an 1609, et avec seulement deux verres de lunettes, il a découvert que la surface de la Lune est partiellement recouverte de montagnes et truffée de cratères. Sa joie de savant n'a certainement pas été moindre en ce temps-là que celle des hommes de science de notre époque qui ont exploré la face invisible de la Lune, mais à l'aide des moyens infiniment plus vastes que sont les fusées géantes et les sondes spatiales.

Le premier instrument de Galilée grossissait environ 3 fois, et, plus tard, il parvint à construire de plus fortes lunettes d'approche dont le grossissement lui permit de nouvelles découvertes.

Ses observations l'amènent en particulier à pouvoir confirmer que la tradition était fautive qui prétendait que la Terre était le centre de l'Univers, et qu'en vérité la Terre n'était qu'une planète entre les planètes qui gravitent autour du Soleil. L'hostilité, les inimitiés et les poursuites qu'il dut subir de la part de ses contemporains furent la conséquence de ses nombreuses observations et du fait qu'il se fit le défenseur des nouvelles théories répandues par Copernic vers l'an 1514, à savoir qu'il ne seulement la Terre avait la Lune comme satellite, mais que d'autres planètes également — comme



Galilée Galilée

Jupiter par exemple — avaient de nombreux mondes tournant autour d'elles. La première communication qu'il fit à ce sujet débuta ainsi : « Lorsque, aux premières heures du jour qui suivit la nuit du 7 janvier 1610, j'observai les astres avec une lunette d'approche, Jupiter s'offrit à ma vue. Comme je m'étais confectionné un instrument grandement perfectionné, je vis trois petites étoiles situées à proximité de Jupiter, elles étaient de faible grandeur mais en même temps d'une forte clarté... »

Depuis cette époque, des lunettes d'approche — identiques à celle qu'il construisit — sont appelées lunettes de Galilée. Du côté de la visée, elles comportent une lentille divergente et, sur l'autre côté, une lentille convergente. Toutefois Galilée n'est pas à considérer comme le véritable inventeur des dites lunettes d'approche.

La description la plus ancienne connue d'une lunette d'approche vraiment fonctionnelle est en effet de cent ans plus vieille. Elle provient de l'année 1509 et fut trouvée parmi les descriptions de Léonard de Vinci, que tu connais déjà depuis le chapitre 3. Ici aussi il s'agit d'un tube, dont un côté était fermé par une lentille convergente et l'autre côté par une lentille divergente. L'écartement entre les deux lentilles pouvait être modifié, de sorte que le réglage était possible afin d'obtenir une image nette de divers objets de grand éloignement.

Vu que les lentilles appropriées à la construction de telles lunettes d'approche étaient déjà connues dans toute l'Europe et depuis longtemps, sous la forme de verres de lunettes, il n'est pas surprenant qu'un jour des fabricants hollandais trouvèrent ou firent l'expérience que l'on pouvait construire une lunette d'approche à l'aide d'une lentille convexe et d'une lentille concave.

Néanmoins, ni les lunettiers hollandais, ni Galilée n'eurent le moins du monde connaissance des dessins de Léonard de Vinci, c'est du moins peu probable ; à cette époque les nouvelles se diffusaient lentement de bouche à oreille, se déformaient sous forme de rumeurs et se perdaient dans l'oubli, sauf si par hasard elles étaient transcrites dans une lettre. Il n'existait pas encore de journaux imprimés (le premier a paru en Allemagne en 1609 seulement).

Ainsi, en ce temps-là, de nombreuses découvertes — dont tous les éléments techniques étaient déjà plus ou moins dans l'air — ont été faites indépendamment les unes des autres, presque en même temps, et en différents lieux, par des chercheurs qui ne se connaissaient pas et n'avaient aucune relation entre eux.

Nous savons toutefois que cent ans après Léonard de Vinci, donc à l'époque de Galilée, on pouvait acheter des « lunettes d'approche hollandaises » en France et en Allemagne. Dans l'intervalle, leur réputation était déjà telle qu'un Brevet d'invention demandé au Gouverneur Prince-Maurits d'Orange fut refusé à Hans Lippershey, originaire de Wessel, qui l'avait sollicité en automne 1608 pour sa lunette d'approche : depuis 1594, il vivait à

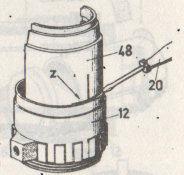
Meddelburg sous le nom de Lippershey, fabricant de lunetterie, et avait construit déjà de telles lunettes d'approche.

Néanmoins, l'échantillon soumis de cette lunette d'approche plut si bien qu'on lui en commanda aussitôt 6 à 1.000 Gulden la pièce. Lorsque Lippershey en fit la livraison, il ne reçut toutefois que 300 Gulden !

64. La grosse lentille achromatique devient un objectif.

Démontons tout d'abord la boîte photographique à trou que nous avons peut-être gardée à notre disposition depuis le chapitre 46. Nous lui enlevons le tube télescopique 24 (télé-rallonge) et les tubes coulissants 53 que nous conservons à nouveau dans le coffret. Mais, par contre, nous ne touchons pas à l'assemblage (préparé au même chapitre) de la monture coulissante avec le petit morceau rond découpé dans la lamelle du filtre mat, car cette combinaison nous servira de nouveau.

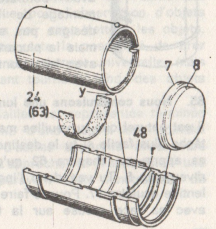
Afin de pouvoir utiliser le gros achromat comme objectif dans la lunette d'approche, il doit tout d'abord être incorporé dans sa monture. (On nomme toujours objectif la lentille de devant ou la combinaison des lentilles, qui est tournée face à l'objet observé [les professionnels disent simplement l'« objet »].) Cette monture fait également office de structure avant pour toutes les lunettes d'approche que tu peux monter avec les pièces de ton coffret optique. Elle sera incorporée plus tard dans la pièce de raccordement universelle 12. Car, après cette dernière, tu ne pourrais plus vérifier si la monture est suffisamment enfoncée. C'est pourquoi tu te fais en premier lieu un repère à l'extérieur sur une demi-coquille d'objectif 48 (comme tu peux le voir sur le croquis ci-contre). Pour ce faire mets une demi-coquille d'objectif 48 dans la pièce de raccordement universelle 12 ; puis avec le tournevis 20 trace le long du bord un trait, en forme de rayure, désigné par « z » et se déroulant transversalement par rapport à la division de lecture gravée perpendiculairement.



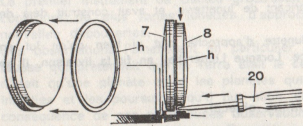
Tu prends maintenant la bande de feutre 63 dans le sachet 54 et tu en découpes un petit morceau d'environ 1 cm de long. Tu conserveras ce petit morceau de feutre dans la boîte 54, car on s'en servira plus tard pour le montage de l'objectif de l'appareil photographique.

Quant au grand morceau de feutre restant, tu le couperas exactement par le milieu, de façon à ce que tu obtiennes deux demi-bandes de feutre de chacune 6 cm de long. Chacune de ces deux demi-bandes de feutre est destinée à une demi-coquille d'objectif 48.

Ainsi que tu peux le constater sur le croquis ci-contre, une rainure particulièrement large et plane est prévue dans la demi-coquille d'objectif 48 pour recevoir la demi-bande de feutre 63. La demi-bande de feutre est un peu plus courte que la rainure et doit être disposée de telle manière qu'elle ne déborde pas sur les bords de la demi-coquille, mais qu'à chaque extrémité il subsiste encore environ 2 - 3 mm de vide jusque sur le bord de la demi-coquille.



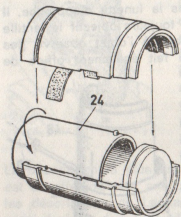
Après avoir enlevé le papier de protection, presse la demi-bande de feutre — par son côté adhésif — fortement dans la rainure (comme décrit), en sorte que chacune des deux demi-coquilles soit munie d'une demi-bande de feutre 63.



Incorpore ensuite la lentille achromatique dans sa rainure. La partie en retrait avec le petit diamètre doit être tournée vers l'extérieur, afin que, plus tard, la lumière frappe la grosse lentille divergente 8 en premier lieu. Vérifie maintenant que l'achromat ne branle pas dans la rainure (son bord épais est en effet souvent plus étroit que la rainure n'est

large). Ce qu'il y a à faire éventuellement dans ce cas est indiqué sur le croquis ci-contre :

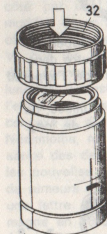
Découpe — sur le tableau des modèles — un ou plusieurs anneaux h et pose-les sur le petit diamètre de la lentille 8 de l'achromat (côté noir à l'extérieur). Puis monte l'achromat avec ses anneaux de carton dans la rainure, tout en t'aidant du tournevis afin que les anneaux glissent bien dans la rainure.



Pour terminer pose le tube télescopique 24 dans la demi-coquille, ainsi qu'on peut le voir sur le croquis de cette page en haut à droite. L'un des deux tétons « y » doit s'engrener dans la rainure transversale « r ».

Tu peux maintenant recouvrir le tout avec l'autre demi-coquille 48, et, pour le cas où des anneaux de carton auraient été employés, tu t'aideras encore une fois du tournevis afin que les anneaux glissent bien dans la rainure et ne se replient pas.

Les demi-coquilles sont ainsi constituées en un seul tube qui est fermé devant par la lentille achromatique. Tiens ce tube solidement en main et tente de tourner le tube télescopique qui se trouve à l'intérieur du montage ci-dessus. Ce faisant, tu remarqueras qu'il glisse soit en avant soit en arrière.



Tu devras alors le pousser complètement à fond de façon à ce qu'il ne fasse saillie à aucun endroit.

L'objectif étant ainsi préparé, place-le debout sur sa partie ouverte, et places-y en haut l'obturateur de contre-jour 32. Presse fortement sur l'obturateur avec la paume de la main, jusqu'à ce qu'il ne subsiste plus aucune fissure entre cet obturateur et la face externe des demi-coquilles. Pour ce faire tu peux aussi retourner l'objectif et le poser sur la table avec l'obturateur de contre-jour. Si ce dernier est solidement fixé, le montage de l'objectif est terminé. Tu auras déjà remarqué qu'on ne désigne pas seulement par objectif les lentilles d'objectif elles-mêmes, mais la plupart du temps l'ensemble constitué par les lentilles d'objectif avec leur monture brute.

65. Nous construisons une lunette d'approche de Galilée.

Il est naturel que tu veuilles maintenant essayer ton objectif. Ce sera une tâche plus facile si tu le destines à une lunette d'approche de Galilée. Tu as appris au chapitre 62 qu'on peut utiliser à cet effet une lentille divergente 5. Tu vas donc l'incorporer tout de suite dans la monture de lentille oculaire 17. Pour le faire, tu poses simplement la lentille divergente avec sa face creuse sur la table et pousse la monture de lentille

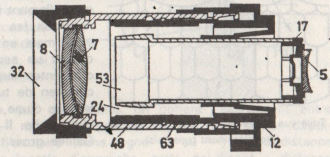
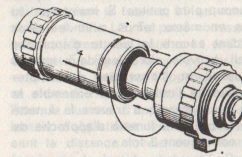
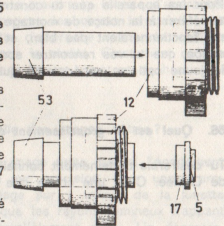


oculaire dessus (côté ouvert vers le haut). La lentille 5 reste alors à l'extérieur fixée à la monture de lentille oculaire, car son bord s'engrène quelque peu dans l'anneau disposé à l'extérieur sur la monture de lentille oculaire.

Ensuite, pousse un tube coulissant 53 par l'intérieur dans le trou de la pièce de raccordement universelle 12, jusqu'à ce qu'il dépasse d'environ 8 mm au-dessus de l'épaulement de filet sur la partie filetée de la pièce de raccordement universelle. Tu introduis alors dans cette extrémité saillante la monture de lentille d'oculaire 17 munie de la lentille divergente 5.

On monte finalement l'objectif en introduisant le côté ouvert du tube coulissant enfilé dans la pièce de raccordement universelle dans la face ouverte de l'objectif.

Comme le montre le croquis ci-dessous à gauche, la pièce de raccordement universelle doit être maintenant tournée dans le sens de la flèche, comme si tu voulais la visser sur l'objectif. Prends garde par conséquent à la marque de repérage « z » précédemment gravée. On doit encore voir le repère à ras du bord de la pièce de raccordement



universelle, lorsque l'objectif est entièrement introduit. L'introduction de l'objectif dans la pièce de raccordement universelle doit être dure, afin qu'au moment du réglage de distance l'objectif ne se dégage pas.

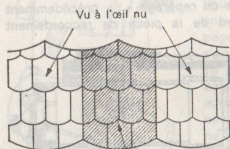
La lunette d'approche de Galilée est ainsi terminée. Si tu la saisis d'une main par le bord moleté de la pièce de raccordement universelle, et de l'autre main par le bord moleté de l'objectif (à l'obturateur de contre-jour), il t'est possible alors de tourner l'une contre l'autre la pièce de raccordement universelle et l'objectif. Suivant le sens dans lequel tu tournes, l'objectif sort ou rentre légèrement. De cette manière, il est possible de modifier l'écartement entre la lentille d'oculaire et l'achromate d'objectif et de régler une image nette. Tu constateras que, pour l'observation d'objets proches, tu dois faire sortir l'objectif assez loin si tu veux voir avec netteté les objets. Pour le cas où la plage de réglage ne te suffit pas, il te reste la possibilité de tirer encore un peu le tube coulissant 53 hors de la pièce de raccordement universelle, mais de préférence dans la mesure seulement où l'objectif étant tourné à fond, des objets très éloignés apparaissent encore avec netteté.

A droite du croquis ci-dessus, la lunette d'approche de Galilée est représentée terminée et telle qu'on la verrait si on la présentait sous forme d'une coupe longitudinale. Regarde bien cette image. Lorsque tu auras construit d'autres appareils avec leurs pièces détachées, tu pourras revenir à cette lunette d'approche et l'assembler une nouvelle fois d'après ce dessin, sans avoir à lire auparavant toute l'instruction de montage.

Pour les appareils que tu construis pour la première fois il est mieux, par contre, de te référer à la notice de montage, sinon tu pourrais commettre des erreurs, les appareils ne fonctionneraient pas bien, et des pièces pourraient se détériorer. Les dessins en coupe, que tu vas rencontrer souvent dès à présent, sont donc des aide-mémoire pour le jeune opticien expérimenté qui a déjà construit des appareils.

66. Quel est le grossissement de la lunette d'approche de Galilée ?

Tu désirerais certainement connaître quel est le grossissement de ta lunette d'approche de Galilée. C'est une chose que tu peux aisément constater. Il suffit que tu cherches un point de mire, un objet fait de plusieurs pièces composantes identiques, comme par exemple une clôture de lattes ou une rangée de tuiles sur un toit qui sont disposées en espacement régulier les unes à côté des autres.

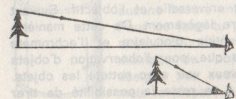


Tuile vue à travers la lunette d'approche (grossissement trois fois)

Si tu pointes ta lunette d'approche sur une rangée de tuiles, tu les vois agrandies par ta lunette d'approche. A l'œil nu, ces mêmes tuiles, nous les voyons naturellement beaucoup plus petites. Si maintenant tu regardes les tuiles en même temps avec les deux yeux mais en gardant encore la lunette d'approche devant un seul œil, tu vois alors les deux images différentes superposées, et il t'est aisé de compter combien de tuiles vues à l'œil nu font ensemble la largeur d'une tuile vue agrandie à travers la lunette d'approche. Il y en a trois. Ta lunette d'approche de Galilée grossit par conséquent 3 fois.

67. Un essai de performance

Un même objet apparaît plus grand lorsque l'angle optique (en hachures sur le croquis) sous lequel l'œil le voit est plus grand.



La grandeur d'image d'un objet grossi trois fois apparaît à l'œil, dans un tel cas, comme si la distance par rapport à sa position s'était rétrécie de $1/3$ de la distance réelle ; de sorte que, sur la surface de l'objet « qui s'est rapproché », on peut voir plus de détails, exactement comme si on l'observait réellement d'un point plus proche.

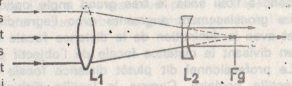
La possibilité de performances de la première lunette d'approche que tu as construite toi-même peut tout spécialement être mise à l'épreuve au moyen de l'essai ci-après : suspens un journal sur le dossier d'une chaise, compte de combien de pas tu dois t'éloigner pour ne plus pouvoir lire un titre quelconque de moyenne grosseur. Si tu te tiens maintenant à la double distance du journal, tu ne pourras certainement plus déchiffrer ce titre sans l'aide de la lunette d'approche. Vu à travers ta lunette d'approche à triple grossissement, ce titre sera de nouveau lisible très distinctement.

Au surplus, as-tu déjà fait l'essai de regarder tes pieds à travers ta lunette d'approche tournée à l'envers ? Vu que la lunette d'approche rapetisse les objets lorsqu'elle est retournée, tes pieds apparaissent alors dans la lunette d'approche renversée comme s'ils étaient trois fois plus éloignés de ta tête que dans la réalité. C'est ainsi qu'une personne verrait tes pieds, si elle allait sur des échasses de trois mètres de haut.

68. Quand la lunette d'approche de Galilée donne-t-elle des images nettes ?

Dans toutes les lunettes d'approche, il ne résulte une image nette que si l'écartement entre lentille d'objectif et lentille d'oculaire est réglé avec précision. Pour une reproduction nette de l'image d'objets très éloignés (réglage sur « infini » de la lunette d'approche), cet écartement doit être choisi de façon que les rayons lumineux frappant parallèlement l'objectif quittent la lentille d'oculaire parallèlement aussi. Un décentrement (inclinaison) de tels rayons les uns par rapport aux autres n'a donc lieu qu'entre objectif et lentille d'oculaire.

Dans la lunette d'approche de Galilée, cette condition est toujours remplie, lorsque le foyer arrière de la lentille L2 se situe là où les rayons qui ont passé à travers L1 se concentreraient sans la lentille L2. Tu peux voir sur le croquis que les foyers des lentilles L1 et L2 coïncident au point Fg. Fg est donc le foyer commun, qui — dans les lunettes d'approche de Galilée — se situe derrière la lentille d'oculaire.



Pour la lunette d'approche de Galilée, par conséquent, on obtient l'écartement entre lentille d'objectif et lentille d'oculaire — nécessaire pour le réglage infini — en déduisant la distance focale de la lentille d'oculaire (sans signe + ou —) de la distance focale de la lentille d'objectif. Pour ta lunette d'approche, cette soi-disant « distance hors tout » se monte à :

$$131 \text{ mm} - 43,9 \text{ mm} = 87,1 \text{ mm.}$$

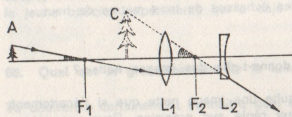
(Si à l'École tu as déjà été initié aux éléments fondamentaux des mathématiques, tu pourras dire aussi que la distance hors tout résulte de l'addition des distances focales de L1 et L2, ce qui revient au même, parce qu'en effet L2 comporte une distance focale négative, et que le signe — (moins) qu'on lui adjointra trouvera — de cette façon — son incorporation dans le calcul.)

La distance hors tout de la lunette d'approche de Galilée est donc plus courte que la distance focale de son objectif. Cet avantage est mis à profit pour les lunettes de théâtre, pour lesquelles on est satisfait de les réaliser en un format trouvant place dans un sac à main. Lunettes d'opéra ou de théâtre, comme on les nomme, sont donc des lunettes d'approche galiléennes.

69. Comment s'opère le grossissement dans la lunette d'approche de Galilée ?

Le fait que, lors du réglage infini d'une lunette d'approche, les rayons lumineux entrant parallèlement quittent de nouveau parallèlement la lunette d'approche (quoique sous une plus forte concentration) n'a rien à voir avec le grossissement de la lunette elle-même. Le grossissement repose plutôt sur le fait qu'un faisceau de rayons lumineux

parallèles — qui frappe l'objectif non pas exactement de l'avant mais un peu de biais — que ce faisceau donc quitte la lentille d'oculaire également sous forme de faisceau de rayons lumineux parallèles mais sous un angle beaucoup plus fortement oblique.



Il résulte du croquis que, dans ce cas, cela dépend uniquement des angles, si l'on a dessiné un seul rayon de ce faisceau au lieu d'un faisceau de rayons lumineux parallèles. Tu vois qu'il forme un petit angle optique (en hachures au point F1) avec l'axe prolongé de la lunette d'approche. Etant donné que nous avons choisi un rayon qui passe à travers le foyer avant F1 de la lentille L1, il est clair que sa trajectoire entre lentilles L1 et L2 doit se dérouler parallèlement à l'axe de la lunette d'approche (comparer avec chapitre 105). Mais un tel rayon est alors réfracté (cassé) vers l'extérieur comme s'il provenait du foyer avant de la lentille L2 (voir chapitres 57 et 58).

Pour l'œil, le rayon lumineux sortant très obliquement de la lentille d'oculaire L2 semble passer par le point F2 étant parti du point C (ligne en petits traits). L'arbre apparaît donc à l'œil sous le très grand angle optique porté en hachures au point F2.

Le grossissement augmente avec l'agrandissement de la distance focale de l'objectif et avec la diminution de la distance focale de la lentille d'oculaire, et peut être calculé en divisant la distance focale de l'objectif par la distance focale de la lentille oculaire. Le professionnel dit plutôt distance focale d'oculaire au lieu de distance focale de la lentille oculaire. Comme la lentille d'objectif est une partie de l'objectif, la lentille oculaire est aussi partie de l'oculaire. Dans notre cas, l'oculaire ne contient qu'une seule lentille mais il pourrait tout aussi bien comprendre un système de lentilles fait de plusieurs lentilles.

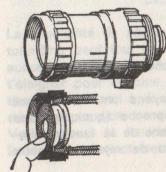
On transcrit ainsi la formule pour le calcul du grossissement :

$$\text{Grossissement de la lunette d'approche} = \frac{\text{Distance focale de l'objectif}}{\text{Distance focale de l'oculaire}}$$

Pour la lunette d'approche de Galilée il en résulte :

Grossissement de la lunette d'approche = $\frac{131 \text{ mm}}{43,9 \text{ mm}} = 2,98$ fois, soit 3 fois en chiffre rond.

70. Lorsque l'on rapetisse une fenêtre



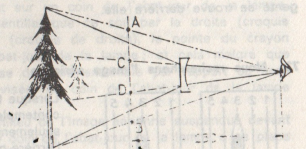
Il y entre moins de lumière. En outre la perspective sur l'extérieur y devient moins bonne. Il en est de même pour ta lunette d'approche de Galilée. Tiens donc devant l'objectif le gros obturateur I avec trou de 12 mm de diamètre (pièce 56). Tu constateras alors que le champ de visée s'est resserré. Mais la luminosité, par contre, semble avoir peu diminué. C'est compréhensible : car les rayons lumineux qui peuvent encore passer n'ont plus maintenant qu'une petite section à reproduire par rapport à l'image qui était visible auparavant.

Pourquoi un obturateur tenu devant l'objectif ne produit-il cet effet que dans la lunette d'approche de Galilée. c'est une chose que tu apprendras au chapitre 95 lorsque tu auras construit une lunette d'approche de Kepler.

71. Une lentille réductrice

Lorsque tu prends une lentille divergente 5 et la tiens suffisamment éloignée de ton œil, tu vois dedans que tout est rapetissé.

Comme tu peux le constater sur le croquis, les rayons lumineux provenant du sommet et de la base de l'arbre directement, touchent l'œil sous un grand angle optique. Les rayons qui, à partir du sommet et de la base, tombent sur la lentille, sont par contre défléchis (déviés) par cette dernière et de telle façon qu'ils frappent l'œil sous un beaucoup plus petit angle optique.

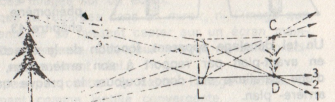


Par conséquent, l'œil voit l'image de l'arbre rapetissée dans la lentille. Cette image réduite semble — vue de l'œil — être située derrière la lentille, et même en direction du prolongement vers l'arrière des rayons arrivant de la lentille sur l'œil.

A portée visuelle claire (250 mm), l'image de l'arbre — vue plus petite à travers la lentille — ne comporte que la hauteur CD, alors que l'arbre lui-même apparaît à l'œil avec la hauteur AB.

72. Des lentilles convergentes peuvent aussi réduire l'image.

Si tu tiens une lentille convergente 4 suffisamment éloignée de ton œil, tu verras dedans que tout est rapetissé également et que les images réduites et renversées que la lentille convergente projette se différencient d'ailleurs très sensiblement des images qui peuvent être vues dans une lentille divergente (comme décrit au chapitre précédent).



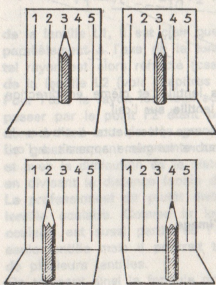
Les images réduites et renversées que livre une lentille convergente sont en effet des images vraies, alors que les images visibles dans une lentille divergente ne sont que des images apparentes (virtuelles).

Tu te demanderas alors : « Qu'est-ce qu'une image vraie ? ». Une telle image vraie (le professionnel la nomme image réelle) se comporte — en ce qui concerne les rayons lumineux — comme un véritable objet. De chaque point de sa surface partent des rayons lumineux dans plusieurs directions.

Considère sur notre croquis trois rayons partant et du sommet et de la base de l'arbre, et atteignant la lentille. Derrière la lentille ils se rencontrent en un seul point et reproduisent à cet endroit le sommet et la base de l'arbre. Leur trajectoire ne se termine pas sur ce point de rencontre, mais ils s'y rencontrent seulement. Ce qui fait que, derrière ce point de reproduction de l'image, ils se dispersent dans tous les sens. Ce qui précède est particulièrement démontré par les rayons 1 - 2 et 3 partant du sommet de l'arbre. Après s'être rencontrés au point de reproduction D de l'image, ils repartent à nouveau exactement sous la forme de 3 rayons lumineux. Tu peux remarquer que le rayon 3 est toujours du côté du bas de l'arbre.

L'image CD a ainsi un point déterminable avec précision, d'où partent des rayons lumineux comme s'ils émanaient d'un objet s'y trouvant.
Si tu fais toi-même un essai avec la lentille convergente 4 et observes bien, tu feras la remarque que l'image réduite et renversée flotte à une certaine distance devant la lentille convergente. De toute façon tu la vois seulement pendant que la lentille convergente se trouve derrière elle.

73. Nous recherchons l'image aérienne

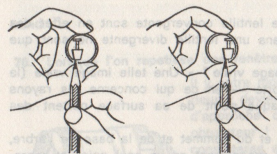


Lorsque tu tiens un objet devant un arrière-plan et le contemples à partir de différentes directions, c'est seulement quand il se situe beaucoup plus proche de l'arrière-plan que de l'œil qu'il ne se décale pas par rapport à l'arrière-plan.

Les deux diagrammes du haut du croquis montrent le cas d'un crayon appuyé directement à l'arrière-plan. Qu'on le regarde par la droite ou par la gauche, dans les deux cas il se tient devant la ligne qui est désignée par ligne 3 sur l'arrière-plan.

Par contre, si le crayon est à une distance suffisante de l'arrière-plan, il semble alors se tenir devant la ligne 2 si on l'observe un peu plus par la droite, et il paraît se tenir devant la ligne 4 si on l'observe un peu plus par la gauche ; c'est ce que montrent les deux diagrammes du bas du croquis. Au sujet de ce phénomène, nous nous sommes déjà expliqués au chapitre 43.

Un tel décalage apparent, fonction de la direction de visée et relatif à un objet situé en avant-plan par rapport à son arrière-plan, est appelé une parallaxe. L'existence d'une parallaxe est donc toujours la preuve qu'il y a un écart entre l'objet et son arrière-plan.



Ce que tu viens d'apprendre va maintenant t'aider à trouver la position de l'image aérienne réduite et renversée devant une lentille convergente 4.

Le croquis ci-contre indique comment faire. Lorsque tu observes dans une lentille convergente l'image réduite et renversée d'un objet quelconque, comme par exemple une lampe de table, tu constateras que l'image voyage sur le bord gauche de la lentille et qu'elle comporte donc une parallaxe envers le bord de la lentille si tu bouges la tête sur la droite.

Mais une pointe de crayon tenue devant la lentille produit le même effet. Si tu tiens la pointe très loin devant la lentille, alors la parallaxe par rapport au bord de la lentille devient très grande. Plus près tu tiens la pointe devant la lentille, plus faible sera sa parallaxe. A une distance déterminée devant la lentille, la pointe du crayon ne montrera une parallaxe qu'à l'égard du bord de la lentille, mais plus alors envers l'image réduite et renversée. Dans un tel cas, un point de l'image qui se trouve direc-

tement à la pointe du crayon restera toujours à cette pointe du crayon, que tu regardes maintenant droit devant la lentille ou de biais par rapport à cette dernière.

Notre croquis montre par exemple l'image d'une lampe réduite et renversée, projetée par une lentille convergente, image dans laquelle une pointe de crayon est tenue de telle manière qu'elle se reproduit exactement sur un coin de l'abat-jour de la lampe. Si tu portes maintenant ton regard sur la lentille, que ce soit par la droite (croquis de gauche) ou que ce soit par la gauche (croquis de droite), la pointe du crayon apparaît toujours sur ce même coin de l'abat-jour de la lampe ; et cela malgré que l'abat-jour de la lampe et la pointe du crayon se décalent ensemble par rapport au bord de la lentille, lorsqu'on modifie l'angle de visée. Le coin de l'abat-jour de la lampe semble flotter sur la pointe du crayon.

En réalité, la pointe du crayon se trouve au milieu de l'image aérienne suspendue devant la lentille et indique clairement l'endroit où le coin de l'abat-jour de la lampe a sa place dans l'image aérienne.

Au contraire d'une telle image réelle, dont la position peut être facilement déterminée, il existe des images apparentes (le professionnel dit des images virtuelles) qui ne flottent pas vraiment dans l'espace, mais qui sont vues par l'œil dans la direction où conduit le prolongement des rayons qui touchent l'œil. Une image réduite vue à travers une lentille divergente constitue par exemple une telle image virtuelle. Avec la pointe du crayon tu ne peux pas trouver son emplacement, car elle n'a point d'emplacement et n'existe qu'en apparence, dans toute l'acceptation du terme.

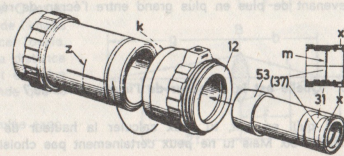
74. Nous captions l'image aérienne

La différenciation entre image réelle (vraie) et image virtuelle (apparente) devient particulièrement claire, si tu tentes de capturer ces images sur un écran.

Tu constateras rapidement que ni l'image que tu regardes dans un miroir, ni l'image que tu regardes à travers une lentille divergente ne se laissent capturer sur un écran maintenu derrière le miroir ou derrière la lentille divergente. Ces deux images ne sont précisément que des images apparentes sans emplacement réel.

Mais tu auras plus de chance, si tu tentes par contre de capturer l'image réduite et renversée que donne l'achromat fonctionnant comme lentille convergente.

Pour le présent essai et les suivants, tu devras démonter en partie la lunette d'approche de Galilée que tu possèdes encore montée sans doute. Premièrement, retire de l'objectif la pièce de raccordement universelle 12, dans laquelle est encore monté le tube coulissant 53 comme partie arrière de la lunette d'approche de Galilée. C'est chose facile, si tu poussez l'objectif à fond, puis, en retirant la pièce de raccordement universelle, tu la tournes de-ci, de-là, à droite, lentement, comme si elle devait être dévissée dans le mauvais sens. Tu sors ensuite la monture de lentille d'oculaire 17, tu enlèves la lentille divergente 5, et tu mets soigneusement de côté ces deux pièces. Tu sors enfin le tube coulissant 53 hors de la pièce de raccordement universelle 12 et le déposes à part. Ceci fait, tu remontes la pièce de raccordement universelle 12, vide, sur l'objectif tourné à fond, tout en tournant la pièce de raccordement universelle à droite comme si elle devait être vissée. (Pour quelqu'un qui n'a pas encore construit auparavant une lunette d'approche de Galilée,



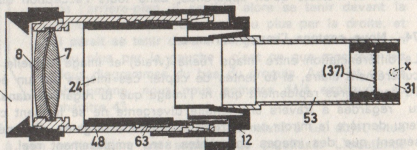
nous renvoyons pour l'instruction de montage de l'objectif aux chapitres 59 et 64.) Le trait de repérage, que tu as gravé en son temps (d'après les instructions du chapitre 64) sur une demi-coquille d'objectif 48, te signalera cette fois encore — comme toujours — si la pièce de raccordement universelle 12 est bien correctement fixée sur l'objectif.

Dans le trou de la pièce de raccordement universelle 12 fixe maintenant un tube coulissant 53 par son bout épais et biseauté nommé « cône ».

Enfin tu as à préparer, avec deux demi-coquilles de monture coulissante 31 et le petit morceau découpé dans la lamelle de filtre dépoli 37, exactement la même monture coulissante avec lamelle de filtre dépoli incorporée, telle qu'elle est décrite au chapitre 46 au milieu de la page 37 (peut-être la possèdes-tu encore à l'état monté depuis lors).

Prends garde que la face lisse du morceau de lamelle (37) soit bien tournée face à l'embouchure de la monture coulissante (avec ses petits trous de repérage « x » situés à l'extérieur du tube). La face mate de la lamelle est désignée par « m » sur le croquis ci-dessus et doit être tournée vers l'objectif. Tout est en ordre si, comme indiqué sur le croquis, tu procèdes de cette façon à l'introduction de la monture coulissante dans le tube coulissant. Le bord du bout de la monture coulissante (désigné par les petits trous de repérage « x ») doit s'incorporer exactement au bout du tube coulissant.

Pour cet essai également, nous t'apportons une image en coupe de sa construction. La face mate de la lamelle de filtre est indiquée sur cette image en coupe par une dentelure sur le trait.



Si tu diriges l'objectif vers la fenêtre ou une lampe pas trop proche, tu peux alors voir l'image aérienne que la lentille achromatique projette sur la lamelle du filtre mat et la capter par conséquent avec cette dernière. Il en résulte une image nette, si tu fais sortir l'objectif en le tournant assez loin pour que la lamelle du filtre mat se trouve exactement dans la plage de l'achromate où se croisent les rayons projetant l'image aérienne. Afin de pouvoir capter une image aérienne, l'écran de réception doit par conséquent se situer exactement à l'endroit de l'image aérienne. S'il se trouve devant ou derrière l'image aérienne, chaque point de l'image devient un cercle de dispersion, par le fait que les rayons ne se sont pas encore réunis pour former l'élément d'image ou tendent déjà à se disperser à nouveau. Ceci donne une netteté insuffisante de l'image, insuffisance de netteté qui croît encore avec un écart devenant de plus en plus grand entre l'écran de réception et l'image aérienne.

75. Quelle est la grandeur de l'image aérienne ?

Quoi qu'il en soit, tu peux calculer la hauteur de l'image de la même façon qu'au chapitre 50. Mais tu ne peux certainement pas choisir la distance de l'image à volonté,

car tu dois régler cette dernière de manière à ce qu'il en résulte une image nette.

Pour les images d'objets très éloignés la distance de l'image a pratiquement la même valeur que la distance focale de l'objectif. Les rayons lumineux d'objets éloignés arrivent, en effet, presque parallèlement sur l'objectif et par suite se réunissent au foyer (voir aussi chapitre 105). On parle dans ce cas de réglage infini de l'objectif, et l'on considère que des objets, dont la distance vers l'objectif égale au moins 1.000 fois la distance focale, sont éloignés à l'infini ; il n'en reste pas moins que l'on doit tout de même réajuster le réglage d'éloignement, ne serait-ce que faiblement, lorsque, par exemple, on a fait un réglage précis pour un objet éloigné de cent mètres et qu'ensuite on voudrait voir aussi la Lune avec la même netteté alors qu'elle est éloignée à l'infini.

La hauteur d'image d'objets éloignés à l'infini peut se calculer d'après la formule de la page 37, et c'est la distance focale qui entre dans la formule, à la place de la distance de l'image. Comme exemple, calculons le diamètre de l'image aérienne du disque lunaire en utilisant un objectif de 131 mm de distance focale (distance moyenne vers la Lune 384.400 km, diamètre de la Lune 3.476 km). Le diamètre de l'image aérienne du disque lunaire, résultera alors de :

$$\text{Hauteur de l'image : } \frac{3.476.000.000 \text{ mm} \times 131 \text{ mm}}{384.400.000.000 \text{ mm}} = 1,18 \text{ mm.}$$

76. Lorsqu'on prend l'image d'un objet proche.

La partie supérieure du croquis suivant montre des rayons lumineux arrivant parallèlement et frappant une lentille convergente exactement par l'avant. Ainsi que tu le sais déjà, de tels rayons lumineux se concentrent sur le foyer situé à distance focale derrière la lentille.

L'angle sous lequel un rayon tombant exactement par l'avant sur un point déterminé d'une lentille est dévié (défléchi) par cette lentille ne se modifie que très peu lorsque ce rayon tombe un peu obliquement sur ce même point de la lentille. C'est ce qui explique que des rayons qui frappent la lentille sous la forme d'un faisceau se dispersant, ne se réunissent que derrière le foyer.

La partie inférieure du croquis montre ce qui précède pour un faisceau de rayons partant du point A, et qui, après la déflexion (déviations) par la lentille, ne se concentre à nouveau qu'au point C seulement.

D'autant plus faible devient la distance de l'objet g, d'autant plus, par conséquent, la distance de l'image b devient grande. C'est la règle en l'occurrence que la distance de l'image devient plus grande que la distance focale, mais plus petite que le double de la distance focale, lorsque la distance de l'objet est plus petite que l'« infini » mais plus grande que le double de la distance focale.

La distance de l'image peut être calculée exactement d'après la formule suivante :

