

## CINQUIÈME PARTIE

### OPTIQUE

#### I

#### PRINCIPES D'OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

##### *Notions générales.*

**Ombres.** — Considérons un point lumineux A et un écran BB, toute la surface de cet écran sera éclairée; mais plaçons entre le point A et l'écran BB un corps opaque C, une partie de l'écran cessera d'être lumineuse par suite de la présence de ce qu'on appelle une ombre.

Si l'on tire des lignes droites partant du point lumineux A et passant par les bords du corps opaque C, on constate que ces lignes droites déterminent, par leur intersection avec l'écran BB, la séparation de l'ombre et de la lumière.

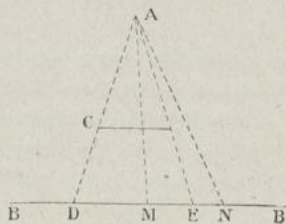


Fig. 295.

Tout point M de l'écran, tel que la droite qui le joint à A rencontre le corps opaque, sera dans l'ombre. C'est pour cela que l'on dit que la lumière se propage en ligne droite, tout se passant comme s'il partait de A des rayons lumineux. Suivant que ces rayons lumineux peuvent aller jusqu'à l'écran ou sont interceptés en route, ils éclairent cet écran ou le laissent dans l'ombre.

L'expérience est généralement difficile à réaliser sous cette forme simple; les sources lumineuses dont nous disposons ne sont pas réduites à un point, mais ont une certaine dimension, comme celle figurée en A (fig. 296). La lumière se propageant en ligne droite,

les rayons lumineux partant de la source A et passant par le bord C du corps opaque, se trouvent tous compris entre CM et CO. De même, les rayons passant par le bord D sont tous entre DP et DN. Il résulte de la simple inspection de la figure qu'un point de l'écran situé dans l'intervalle OP ne reçoit de lumière d'aucun point de la source lumineuse, il est dans l'ombre absolue. Un point situé à gauche de M ou à droite de N est en pleine lumière, aucun

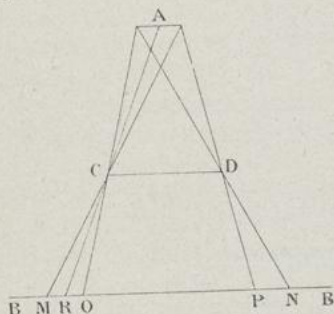


Fig. 296.

rayons qui lui arrivent de A n'est arrêté par le corps opaque. Mais un point tel que R situé dans la plage MO ou dans PN ne reçoit de lumière que d'une partie de la source lumineuse. Dans le cas de B, tous les rayons qui partent de la partie droite de la source A sont arrêtés. Il est aisé de voir que les points de la zone MO reçoivent d'autant moins de rayons de la source lumineuse qu'ils sont plus voisins de O. Sur l'écran BB on voit donc, non plus une ombre nettement séparée de la lumière, mais une ombre passant sur ses bords, par gradation, à la lumière. Cette zone MO, par laquelle on passe insensiblement de l'ombre à la lumière, s'appelle la pénombre. Plus la surface de A augmente, plus l'ombre nette CD diminue; avec une grande source de lumière et un petit corps CD on n'a plus d'ombre sur l'écran BB.

**Absorption. Diffusion. Réflexion et réfraction de la lumière. Indice de réfraction.** — Lorsque des rayons lumineux rencontrent la surface d'un corps, ils peuvent subir différents sorts :

- 1° Ils sont absorbés;
- 2° Ils sont diffusés;
- 3° Ils sont réfléchis;
- 4° Ils sont réfractés;

1° Prenons un objet parfaitement noir : il est difficile de réaliser cette condition d'une façon absolue; cependant, en exposant la surface d'un corps à une flamme fumeuse on obtient un dépôt de noir de fumée assez satisfaisant. Lorsque nous regardons ce dépôt,



même à la bonne lumière du jour, il nous paraîtra toujours noir. Quoique recevant des rayons lumineux, il n'en émettra pas : il les absorbe tous.

2° Faisons la même expérience avec un morceau de craie ou de papier blanc; nous constaterons que, quelle que soit la position dans laquelle nous nous plaçons par rapport au morceau de craie, nous le verrons toujours bien blanc : la surface de ce morceau de craie envoie donc des rayons lumineux dans toutes les directions. Il n'est pas nécessaire pour cela que la lumière tombant sur la surface de

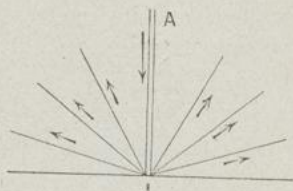


Fig. 297.

la craie arrive dans des directions très variées. Plaçons-nous, par exemple, dans une chambre obscure, ne laissant passer, par un trou pratiqué dans le mur, qu'un petit faisceau AI de rayons solaires parallèles entre eux (fig. 297) : un morceau de craie placé dans ce faisceau paraîtra lumineux quelle que soit la position de l'espace où se trouve l'œil. Il en résulte que le morceau de craie envoie des rayons émergents dans toutes les directions. On dit que la lumière a été diffusée par la surface du morceau de craie.

3° Faisons encore la même expérience avec une surface plane bien polie MN, celle d'un morceau de métal, par exemple (fig. 298). Nous constaterons que la surface ne paraît pas lumineuse de tous les points de l'espace, mais qu'il n'y a qu'une petite région où l'on puisse percevoir la lumière. Nous pourrons, à l'aide d'un morceau de papier blanc tenu à la main et en utilisant la diffusion décrite dans le cas précédent, explorer l'espace autour de MN pour rechercher où se trouve de la lumière.

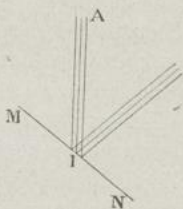


Fig. 298.

Nous constaterons ainsi que le faisceau lumineux incident AI a été renvoyé dans une autre direction après sa rencontre avec la surface polie MN, comme l'indique la figure 298. On dit qu'il y a eu réflexion.

Cette réflexion se fait suivant des lois très simples.

Au lieu de prendre tout un faisceau lumineux, ne considérons qu'un seul rayon idéal tombant en S sur une surface réfléchissante

(fig. 299). En S menons une perpendiculaire SN à cette surface réfléchissante; c'est ce que l'on appelle la normale. Par cette normale et le rayon incident IS, on peut faire passer un plan; ce plan s'appelle le plan d'incidence.

La première loi de la réflexion dit que le rayon réfléchi SR reste dans le plan d'incidence.

D'après la deuxième loi, l'angle  $i$  que fait le rayon incident

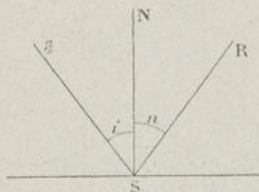


Fig. 299.

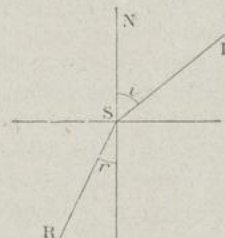


Fig. 300.

avec la normale, et appelé angle d'incidence, est égal à l'angle de réflexion  $r$  que le rayon réfléchi fait avec la normale.

4° Considérons enfin le cas où le rayon, ou bien le faisceau lumineux, frappe la surface polie d'un corps transparent, d'un morceau de verre, par exemple. Le rayon traversera cette surface et se propagera à l'intérieur du corps. Mais, au moment où il effectuera son passage d'un milieu à l'autre, il ne continuera pas son chemin en ligne droite: il y aura changement de direction dû à ce que l'on appelle la réfraction (fig. 300).

Les lois de la réfraction sont au nombre de deux.

La première correspond absolument à la première loi de réflexion: elle dit que le rayon réfracté reste dans le plan d'incidence. Ce plan d'incidence est défini comme dans le cas de la réflexion.

La deuxième loi relie l'angle de réfraction  $r$  à l'angle d'incidence  $i$ . Elle s'exprime par la formule:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n.$$

C'est-à-dire que, quelle que soit l'incidence, le rapport du sinus de l'angle d'incidence au sinus de l'angle de réfraction est un nombre constant  $n$ . Ce nombre est ce que l'on appelle l'indice de réfraction du second milieu par rapport au premier. Lorsque  $n$  est

plus  
gent  
 $i$  es  
rayo  
tant,  
male  
plus  
seco  
fring  
rayo  
la no  
De  
giqu  
déter  
tion  
l'org  
cette  
les v  
tratic  
fait a  
du r  
prés  
mais  
se c  
Le  
diffus  
des r  
trent  
faisce  
face  
une p  
l'autr  
donne  
et il  
corps  
Si  
trois  
et ma  
Ret



plus grand que l'unité, on dit que le second milieu est plus réfringent que le premier :  $\sin i$  est plus grand que  $\sin r$  et, par suite,  $i$  est plus grand que  $r$ ; le rayon lumineux, en se réfractant, se rapproche de la normale. Si, au contraire,  $n$  est plus petit que l'unité, le second milieu est moins réfringent que le premier et le rayon lumineux s'écarte de la normale par la réfraction.

Dans les recherches biologiques il arrive que l'on ait à déterminer l'indice de réfraction de certains liquides de l'organisme; ainsi on peut de cette façon, étudier aisément les variations de leur concentration en albuminoïdes. On fait alors généralement usage du réfractomètre d'Abbé représenté sur la figure 301

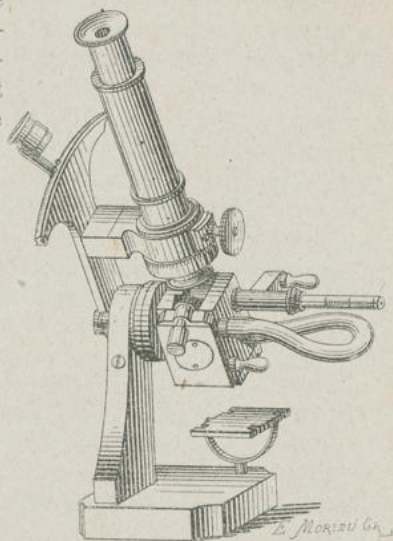


Fig. 301. — Réfractomètre.

mais dont le maniement ne se comprend bien qu'en ayant l'instrument entre les mains.

Les quatre phénomènes que nous venons de décrire, absorption, diffusion, réflexion et réfraction des rayons lumineux, se rencontrent rarement isolés. Quand un faisceau lumineux tombe à la surface d'un corps transparent poli, une partie des rayons se réfracte, l'autre se réfléchit, une troisième donne lieu à un peu de diffusion, et il est rare que, dans le passage du rayon réfracté à travers le corps et à travers l'air, il n'y ait pas un peu d'absorption.



Fig. 302.

Si le corps est opaque et poli, la réfraction manque, mais les trois autres phénomènes subsistent. Enfin, si le corps est opaque et mat, il y a seulement absorption et diffusion.

**Retour inverse des rayons.** — Un rayon lumineux peut par-

courir dans l'espace un trajet extrêmement compliqué par une suite de réflexions et de réfractions. Parmi les divers phénomènes qui se rencontrent dans l'étude de l'optique géométrique, il en est un des plus remarquables et dont la connaissance facilite beaucoup la solution de divers problèmes. Ce phénomène est connu sous le nom de principe du retour inverse des rayons. Voici en quoi il consiste :

Considérons un rayon lumineux qui se propage suivant la direction indiquée par la flèche A (fig. 302). Après un nombre quelconque de réflexions et de réfractions, ce rayon prendra la direction de la flèche B.

Supposons maintenant qu'un rayon soit dirigé suivant la flèche B, mais en sens contraire; nous pouvons affirmer que ce rayon suivra en sens inverse, dans toutes ses sinuosités, le trajet du rayon précédent, et qu'il finira par se superposer au rayon A dans la direction contraire à celle indiquée par la flèche.

*Ce principe, d'une importance capitale, s'applique entre autres à une seule réflexion ou à une seule réfraction.*

Quand un rayon lumineux IS se réfléchit en un point S, nous savons que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

Par conséquent, si un rayon lumineux d'abord voisin de la normale SN (fig. 303) tourne autour du point S dans le sens de la flèche  $f$ , le rayon réfléchi tournera lui-même dans le sens de  $f'$ ; il coïncidera d'abord avec le rayon incident suivant SN,

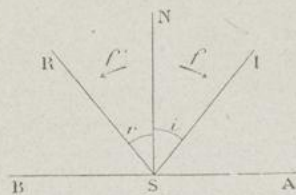


Fig. 303.

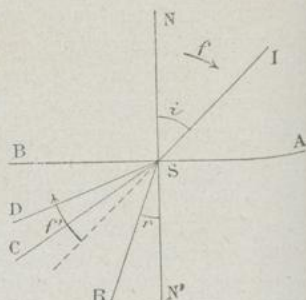


Fig. 304.

et, quand ce rayon incident rasera la surface suivant AS, le rayon réfléchi s'échappera suivant SB. Inversement, si le rayon incident vient suivant RS, le rayon réfléchi sera dirigé suivant SI.



Examinons maintenant ce qui se passe pour la réfraction.

Lorsque le rayon incident IS (fig. 304) rencontre la surface réfringente en S, au lieu de continuer son chemin en ligne droite, il se brise, et, si le second milieu est plus réfringent que le premier, il se rapproche de la normale SN'. Quand le rayon incident est très rapproché de la normale NS, le rayon réfracté est sensiblement dans le prolongement de la normale.

A mesure que le rayon incident tourne dans le sens  $f$ , le rayon réfracté tourne dans le sens  $f'$ , mais il tourne plus lentement que le rayon incident. Il en résulte que, lorsque le rayon incident arrive suivant la direction AS, le rayon réfracté est dirigé suivant SC, par exemple. Il en résulte que tous les rayons incidents situés entre SN et SA ont leurs rayons réfractés dans l'angle N'SC. Il n'y a pas de rayon réfracté dans l'angle CSB. L'angle N'SC est ce que l'on appelle l'angle limite.

Renversons maintenant le sens de propagation de la lumière. Quand un rayon vient suivant N'S, il se réfracte suivant SN. Quand le rayon incident tourne dans le sens de la flèche  $f'$ , le rayon réfracté tourne dans le sens de la flèche  $f$ , plus vite que le rayon incident, et quand le rayon incident arrive suivant CS, le rayon réfracté sort en rasant la surface suivant SA. En continuant la rotation du rayon incident, il est évident que l'on ne peut plus trouver dans la partie supérieure de rayon réfracté. Les rayons tels que DS, situés dans l'angle CSB, n'ont pas de rayon réfracté; il y a lieu de se demander ce que devient la lumière dans ce cas.

Voici en réalité ce qui se passe. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, quand un rayon lumineux touche au point S, il ne se réfracte pas en entier, il se divise en une portion réfractée et une portion réfléchie. L'expérience prouve que la portion réfléchie devient d'autant plus importante que l'on s'éloigne davantage de la normale. Lorsque la lumière vient suivant N'S, il s'en réfléchit peu; mais, plus la direction des rayons incidents se rapproche de CS, plus il se réfléchit de lumière et moins il s'en réfracte. Quand le rayon incident est dirigé suivant CS, il n'y a pas plus de rayon réfracté, toute la lumière se trouve dans le faisceau réfléchi, on dit qu'il y a réflexion totale. Tous les rayons situés dans l'angle CSB subissent la réflexion totale.

*Objets et images.*

Très souvent, en optique, il est question de l'image d'un point ou d'un objet. Il est de la plus haute importance de bien comprendre ce qu'est une image.

Quand un point lumineux se trouve dans l'espace, une personne



Fig. 305.

placée dans les environs de ce point, a la notion de ce point lumineux, par un mécanisme qui sera étudié plus loin. Il suffit pour cela, bien entendu, qu'il n'y ait pas de corps opaque interposé entre le point lumineux et l'œil de cette personne. Dans ce cas, un

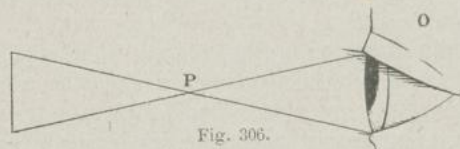


Fig. 306.

faisceau lumineux conique part du point lumineux P (fig. 305) et se propage jusqu'à l'œil. Cet œil pourra se déplacer tout autour du point P, le sujet aura toujours la même sensation.

Il peut arriver que l'œil reçoive un faisceau lumineux n'émanant pas directement d'un point P, mais ayant cependant au voisinage de cet œil la même constitution géométrique que le faisceau précédent. Par exemple, on conçoit qu'une série de réfractions ou de réflexions aient donné un faisceau lumineux convergent en un point P (fig. 306). Après s'être rencontrés en P, ces rayons continuent leur chemin et donnent un faisceau divergent. Le sujet dont l'œil sera placé dans ce faisceau divergent aura évidemment la même sensation que s'il y avait réellement un point lumineux en P. On dit alors qu'il y a en P une image réelle.

Il peut encore arriver qu'un faisceau lumineux quitte une sur-

fac  
rayo  
de l'a  
P. L  
notic  
neux  
com  
réelle  
alors  
imag  
Ce  
chaq  
lumin  
sera  
leurs  
réfrin  
Il  
tuelle  
de vo  
surfac  
neux.  
l'imag  
ou si  
surfac  
cherch  
l'imag  
Or, il  
savoir  
est le p  
proché  
la tête  
l'autre  
plus é  
dans u  
tical de  
raleme  
que la  
Nous  
de tout  
opaque



face réfléchissante ou réfringente en divergeant (fig. 307). Les rayons ne se coupent plus en un point, mais leurs prolongements de l'autre côté de la surface AB peuvent se rencontrer en un point P. L'œil placé dans le faisceau émergent de AB donnera encore la notion d'un point lumineux situé devant lui, comme si ce point existait réellement en P. On dit alors qu'il y a en P une image virtuelle.

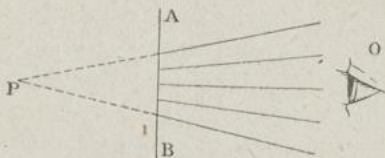


Fig. 307.

Cette image est réelle chaque fois que les rayons lumineux s'y couperont réellement avant d'arriver à l'œil. L'image sera virtuelle si les rayons lumineux ne se coupent pas, mais que leurs prolongements derrière la dernière surface réfléchissante ou réfringente passent par un même point qui sera l'image.

Il est aisé, lorsqu'on voit une image, de savoir si elle est virtuelle ou réelle, à la condition toutefois de voir en même temps la dernière surface traversée par les rayons lumineux. Il s'agit en effet de savoir si l'image est entre cette surface et l'œil, ou si elle se trouve au delà de cette surface. Ce qui revient à dire qu'il faut chercher si c'est la dernière surface ou l'image qui est le plus près de l'œil. Or, il y a un procédé général pour savoir, quand on voit deux objets, quel est le plus éloigné et quel est le plus rap-

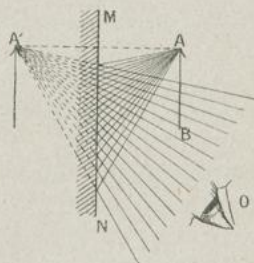


Fig. 308.

proché de l'observateur. Il suffit pour cela de déplacer latéralement la tête; on voit les deux objets se déplacer l'un par rapport à l'autre; celui qui se déplace dans le même sens que la tête est le plus éloigné. Il suffit, pour s'en convaincre, si l'on se trouve dans un appartement, de regarder simultanément un barreau vertical de la fenêtre et un objet extérieur: en déplaçant la tête latéralement, il semblera voir l'objet se déplacer dans le même sens que la tête, par rapport au barreau de la fenêtre.

Nous avons dit plus haut qu'un point lumineux peut se voir de tout l'espace environnant, pourvu qu'il n'y ait pas de corps opaque interposé entre l'œil et le point lumineux. Il n'en est plus

de même des images; il faut, pour que l'image soit perçue, que l'œil soit placé dans le cône lumineux des rayons formant l'image; or ce cône n'occupe qu'une portion restreinte de l'espace, nommée champ; sitôt que l'œil en sort, la sensation lumineuse disparaît.

On peut cependant rendre de tout l'espace environnant l'image réelle d'un point visible. Les rayons lumineux qui forment cette image réelle se coupent en un point; si l'on place un écran de papier blanc en cet endroit, la place où les rayons se coupent sera lumineuse, tous les environs restant obscurs, et, par suite de la diffusion, le point lumineux sera visible de tous les environs. On ne peut évidemment faire la même opération pour une image virtuelle.

Ce que nous avons dit pour un point lumineux s'applique, bien entendu, à un objet lumineux quelconque qui n'est en réalité composé que d'une série de points juxtaposés.

Nous allons passer successivement en revue la formation des images soit par réflexion, soit par réfraction; d'abord à travers les surfaces planes, puis à travers les surfaces courbes. Dans tout ce qui suit, nous ne donnerons aucune démonstration, renvoyant pour cela aux traités élémentaires d'optique; nous ne ferons qu'énoncer les résultats acquis.

**Miroir plan.** — Quand un objet AB se trouve devant un miroir plan, chaque point A de l'objet forme son image en un point A' symétrique par rapport à l'objet. La figure 308 indique comment se fait la marche des rayons lumineux et pourquoi l'œil perçoit une image en A'. L'image de AB est virtuelle. On dit aussi qu'elle est droite ou de même sens que l'objet, parce qu'un œil placé très loin et regardant à la fois l'objet et son image les voit tournées de la même façon.

Dans le cas du miroir plan, l'image est égale à l'objet.

La figure 309 représente un objet et son image renversée.

**Surface réfringente plane.** — Dans ce cas, les divers rayons, tels que IR, réfractés d'un rayon AI partant du point lumineux A, ne passent plus tous par un même point A' (fig. 310). On dit que le faisceau réfracté n'est plus homocentrique. Il n'y a donc plus d'image à proprement parler. Mais, la pupille étant très petite, tous

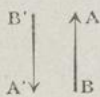


Fig. 309.

les  
sen  
en c

aussi  
A ob

Ré

Quan

milie

si le

réfrac

d'apr

émer

parall

Si

A en

une l

rayon

lèles

auron

n'en

par u

après

Cep

cédent

image

épaisse

lame s

positio



les rayons faisant partie du faisceau lumineux entrant dans l'œil passent sensiblement par un même point  $A'$  et l'œil perçoit une image en ce point. Seulement, lorsque l'œil se déplace, l'image se déplace

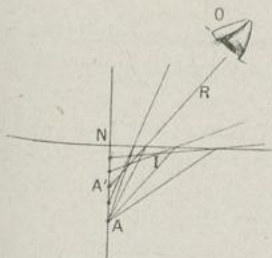


Fig. 310.

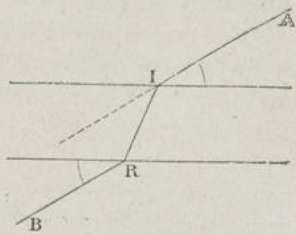


Fig. 311.

aussi. Plus l'œil se rapproche de la surface de l'eau pour regarder  $A$  obliquement, plus l'image  $A'$  semble se faire près de la surface.

**Réfraction à travers deux surfaces planes parallèles.** —

Quand un rayon  $AI$  tombe sur la surface de séparation de deux milieux, il se réfracte en se rapprochant de la normale (fig. 311), si le second milieu est plus réfringent que le premier. Ce rayon réfracté tombe ensuite sur la seconde surface et il est aisé de voir, d'après le principe du retour inverse des rayons, que le rayon émergent  $RB$  prendra une direction parallèle à  $AI$ .

Si nous avons un point lumineux  $A$  envoyant un faisceau divergent sur une lame à faces parallèles, tous les rayons après la réfraction seront parallèles aux rayons incidents qui leur auront donné naissance (fig. 312). Il n'en résulte pas qu'ils passent tous

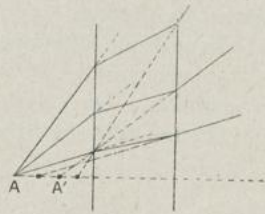


Fig. 312.

par un point  $A'$ . Le faisceau réfracté n'est plus homocentrique après la réfraction.

Cependant, par suite des mêmes causes que dans le cas précédent, l'œil peut encore percevoir une image  $A'$  de  $A$ . Cette image est d'autant moins nette que la lame transparente est plus épaisse. Elle se déplace lorsqu'on change l'inclinaison de cette lame sur le trajet des rayons lumineux ou que l'on change la position de l'œil.

L'œil étant  $O$ , le point lumineux en  $A$ , si la lame transparente est perpendiculaire à  $AO$ , l'image se fera en  $A'$ . Si, comme l'indique la figure 313, on incline la lame, cette image sera vue en  $A''$ .

**Réflexion et réfraction à travers les surfaces sphériques.**  
**— Miroirs.** — Les miroirs sphériques sont généralement enchâssés dans un cadre circulaire.

Les cadres carrés ou rectangulaires ne sont usités que dans certains cas spéciaux; au point de vue optique, cette forme est irrationnelle.

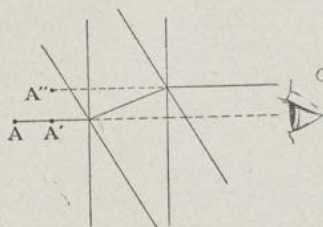


Fig. 313.

Le point  $S$  du miroir situé au milieu du cadre circulaire est le sommet du *miroir* (fig. 314).

La ligne droite  $SC$  qui joint le sommet  $S$  au centre de courbure  $C$  est l'*axe principal*.

**Dioptrés.** — Lorsque deux milieux de réfringence différente sont séparés par une surface sphérique, cette surface sphérique constitue un dioptré.

Les dioptrés sont généralement limités, comme les miroirs, par un cadre circulaire.

Le point  $S$  du dioptré situé au milieu d'un cadre circulaire est le *sommet du dioptré*.

La ligne droite  $SC$  qui joint le sommet  $S$  au centre de courbure  $C$  est l'*axe principal*.

**Lentilles.** — Quand un corps est plongé dans un milieu d'indice de réfraction différent du sien et qu'il en est séparé par deux sur-

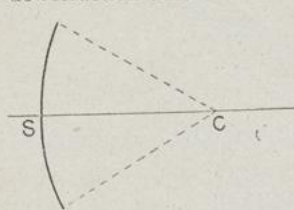


Fig. 314.

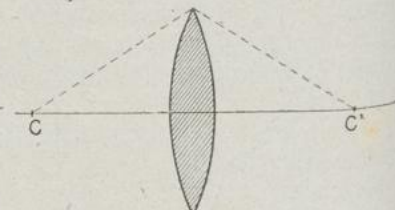


Fig. 315.

faces sphériques ou une surface sphérique et une surface plane, ce corps constitue une lentille.

La ligne droite  $CC'$  qui joint le centre des deux sphères est



*Axe principal de la lentille* (fig. 315). Si la lentille est constituée par une sphère et un plan, l'axe principal SP passe par le centre de la sphère et est perpendiculaire au plan (fig. 316).

**Systèmes centrés.** — Si l'on place à la suite les uns des autres une série de dioptrés et de miroirs dont les axes principaux coïncident, suivant une droite XY on a ce que l'on appelle un *système*

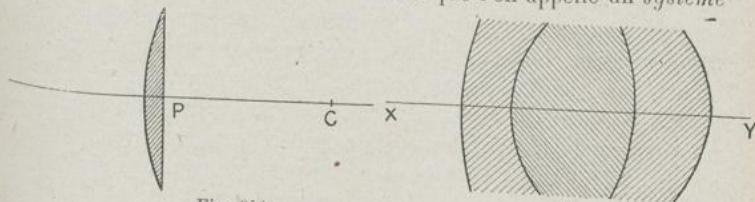


Fig. 316.

Fig. 317.

*centré* (fig. 317). Les systèmes centrés que l'on rencontre en physique biologique ne comprennent généralement que des dioptrés, il n'y entre pas de miroirs.

La ligne droite XY avec laquelle coïncident tous les axes principaux des dioptrés et des miroirs est l'axe principal du système centré.

Dans tout système centré il y a un certain nombre de points et de plans remarquables dits *points et plans cardinaux* jouissant de propriétés capitales et dont il est absolument indispensable de connaître le rôle. En effet c'est de ces points et plans remarquables seuls que dépendent la formation des images dans les systèmes optiques, comme on le verra plus loin. Pour que deux systèmes optiques soient équivalents au point de vue de la formation des images, il faut et il suffit qu'ils aient mêmes points et plans cardinaux.

**Foyers principaux.** — Quand un faisceau de rayons tous parallèles entre eux tombe sur un système optique centré réfléchissant ou réfringent, après la réflexion ou la réfraction les rayons lumineux passent tous par un même point. Si le faisceau incident est parallèle à l'axe principal, le point par lequel passent les rayons après leur transformation est un *foyer principal*. Ce foyer principal est situé sur l'axe principal. Les rayons émergents peuvent se couper effectivement au foyer principal, qui est alors *réel* : le système est convergent. Ou bien les rayons émergents ne se coupent pas eux-mêmes au foyer principal, ce n'est que leur

prolongement en arrière de la surface d'émergence qui le fait ; le foyer principal est virtuel, le système est divergent.

**Points nodaux et axes secondaires.** — Dans tout système réfléchissant ou réfringent, il existe sur l'axe principal deux points appelés *points nodaux* jouissant de la propriété suivante : lorsqu'un rayon incident passe par le premier point nodal, le rayon émergent passe par le second point nodal et reste parallèle au rayon incident. Les deux points nodaux peuvent se confondre en un seul point nommé centre optique, le rayon émergent est alors le prolongement du rayon incident, il forme ce que l'on appelle un axe secondaire. On peut aussi considérer comme formant un axe secondaire la ligne brisée passant par les deux points nodaux et composée des rayons incident et émergent parallèles.

**Foyers secondaires et plans focaux.** — Quand on prend un faisceau de rayons parallèles entre eux, et parallèles à un axe secondaire déterminé, après la réflexion ou la réfraction tous ces rayons se coupent en un foyer secondaire situé sur l'axe secondaire correspondant.

Tous les foyers secondaires se trouvent dans un plan, nommé plan focal, perpendiculaire à l'axe principal du système et passant par le foyer principal. On peut donc dire que le foyer secondaire d'un faisceau de lumière composée de rayons parallèles entre eux se trouve à l'intersection du plan focal et de l'axe secondaire correspondant.

**Plans principaux directs et inverses.** — Les plans principaux directs sont deux plans jouissant de la propriété suivante : lorsqu'un objet se trouve dans le premier plan principal direct, l'image est dans le second, de même grandeur et de même sens que l'objet.

Il en résulte que, lorsqu'un rayon incident coupe le premier plan principal direct à une certaine distance de l'axe, le rayon émergent coupe l'autre plan principal direct à la même distance de l'axe et du même côté, car le rayon incident peut toujours être considéré comme partant d'un certain point d'un objet situé dans le plan principal, et le rayon émergent devra passer par le point correspondant de l'image, c'est-à-dire situé dans l'autre plan principal à la même distance de l'axe.



Les plans principaux inverses sont deux plans jouissant de la propriété suivante : lorsqu'un objet se trouve dans le premier plan principal inverse, l'image est, dans le second, de même grandeur et de sens inverse à l'objet.

**Distance focale.** — La distance focale est la distance d'un foyer au plan principal correspondant.

Nous allons passer en revue successivement les divers systèmes réfléchissants et réfringents sphériques, et indiquer comment sont

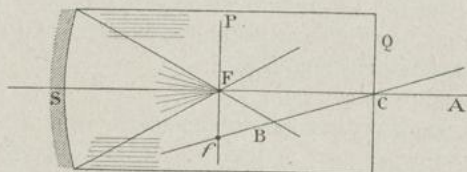


Fig. 318.

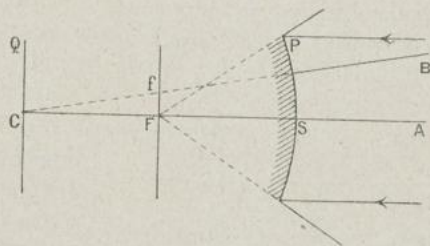


Fig. 319.

placés ces divers foyers, plans nodaux, plans principaux et plans antiprincipaux. Ces points et ces plans portent le nom général de *points et plans cardinaux*.

**Miroirs.** — La lumière vient de droite à gauche, les hachures indiquent la surface non réfléchissante du miroir (fig. 318).

AS est l'axe principal du miroir.

C est le centre de courbure ; S est le sommet.

Les deux points nodaux sont confondus au point C.

Le foyer principal unique est en F ;  $FS = FC$ .

Le foyer principal est réel pour le miroir convergent et virtuel pour le miroir divergent (fig. 318 et fig. 319).

CB est un axe secondaire.

$f$  est le foyer secondaire correspondant à l'axe CB; il est à l'intersection de cet axe avec le plan focal perpendiculaire à l'axe principal en F.

Les plans principaux sont confondus en un seul et coïncident avec la surface du miroir.

Les plans antiprincipaux sont confondus en un seul et sont perpendiculaires à l'axe principal au point C.

**Dioptrés.** — Les traits continus représentent la lumière venant de droite à gauche, les traits interrompus la lumière venant de gauche à droite. Les hachures indiquent le côté le plus réfringent.

AS est l'axe principal du dioptré.

C est le centre de courbure.

Les deux points nodaux sont confondus au point C.

Le foyer principal pour la lumière venant de droite est en F.

Le foyer principal pour la lumière venant de gauche est en F'.

On a  $FC = F'S$  et  $FS = nF'S$ ,  $n$  étant l'indice de réfraction du deuxième milieu par rapport au premier.

Les foyers principaux sont réels pour le dioptré convergent et virtuels pour le dioptré divergent.

CB est un axe secondaire.

$f$  est un foyer secondaire correspondant à l'axe CB pour la

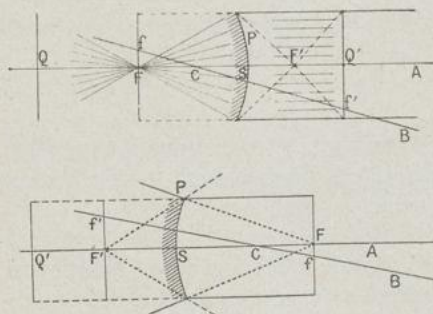


Fig. 320.

lumière venant de droite,  $f'$  un foyer secondaire correspondant à l'axe CB pour la lumière venant de gauche. Ces foyers sont à l'intersection de l'axe secondaire CB avec les plans focaux perpendiculaires à l'axe principal en F et F'.

Les plans principaux directs sont confondus en un seul et coïncident avec la surface du dioptré.

Les plans antiprincipaux sont en Q et en Q' perpendiculaires à l'axe principal. On a

$$QF = FS \quad \text{et} \quad Q'F' = F'S.$$



**Lentilles.** — Pour de nombreux usages les trois espèces de lentilles convergentes ou les trois lentilles divergentes (voir fig. 323), se comportent de la même façon; il suffit donc d'examiner une lentille divergente et une lentille convergente. Nous dirons plus

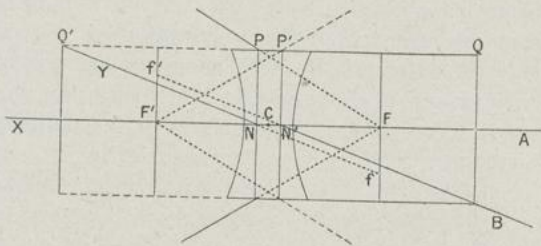


Fig. 321.

loin en quoi les trois lentilles d'un même groupe diffèrent entre elles au point de vue optique, et quelle est l'utilité de cette différence de forme.

Considérons actuellement les deux types des figures 321 et 322 :

Les traits continus représentent la lumière venant de droite à gauche, les traits interrompus la lumière venant de gauche à

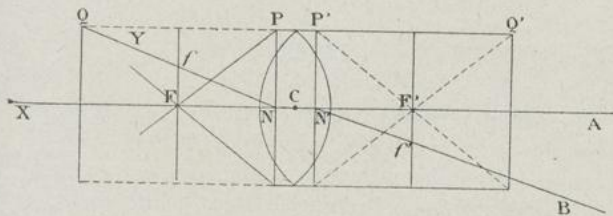


Fig. 322.

droite. La lentille est supposée plus réfringente que le milieu dans lequel elle est plongée. Si la lentille était moins réfringente que le milieu ambiant, la lentille biconvexe deviendrait divergente, la biconcave convergente, et il n'y aurait qu'à transporter les constructions d'une figure à l'autre.

\* AX est l'axe principal de la lentille.

Les points nodaux sont en N et N'. Ils sont également distants des faces de la lentille si ces deux faces ont le même rayon de courbure; dans le cas contraire, celui qui est du côté de la face à plus petit rayon de courbure est plus rapproché de cette face.

Le foyer principal pour la lumière venant de gauche est en  $F$ . Le foyer principal pour la lumière venant de droite est en  $F'$ . On a  $NF = N'F'$ .

Les foyers principaux sont réels pour la lentille convergente et virtuels pour la lentille divergente.

$BY$  est un axe secondaire. Il faut remarquer que  $BY$  se brise en passant à travers la lentille,  $N$  et  $N'$  ne se trouvent pas sur l'axe lui-même, mais sur ses prolongements. En joignant par une droite les points où  $BY$  coupe les deux surfaces de la lentille, on a le trajet de cet axe secondaire dans l'épaisseur même de la lentille.

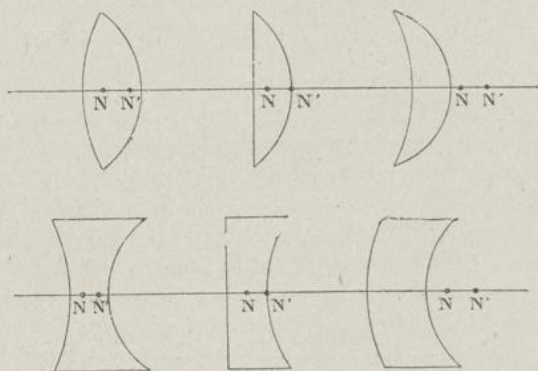


Fig. 323.

On voit alors qu'il passe par un point  $C$  situé entre  $N$  et  $N'$  et que l'on appelle centre optique de la lentille.

Lorsque les lentilles ont une très faible épaisseur, on peut, sans erreur appréciable, admettre que les deux points nodaux se confondent avec le centre optique.

L'axe secondaire devient alors une ligne droite.

$f$  est un foyer secondaire correspondant à l'axe  $BY$  pour la lumière venant de droite,  $f'$  un foyer secondaire correspondant à  $BY$  pour la lumière venant de gauche. Ils sont à l'intersection de l'axe secondaire  $BY$  avec les plans focaux perpendiculaires à l'axe principal en  $F$  et  $F'$ .

Les plans principaux directs sont en  $P$  et  $P'$  passant par les points nodaux et perpendiculaire à l'axe principal.

Les plans antiprincipaux sont en  $Q$  et  $Q'$  et l'on a

$$QF = FP = P'F' = F'Q.$$



Les lentilles convergentes ont les bords plus minces que le centre, elles peuvent être biconvexes, plan-convexes, concavo-convexes comme l'indique la figure 323. Les lentilles divergentes ont les bords plus épais que le centre, elles peuvent être biconcaves, plan-concaves ou concavo-concaves.

Dans les diverses formes de lentille, les points nodaux sont disposés comme l'indique la figure 323. Tous les points et plans cardinaux se disposent comme précédemment par rapport à ces points nodaux.

**Système centré quelconque.** — Dans un système centré quelconque, c'est-à-dire composé d'un nombre quelconque de dioptries placés à la suite les uns des autres avec la seule condition d'avoir le même axe principal, le premier et le dernier milieu peuvent ne pas être les mêmes, comme cela se présente du reste aussi pour les dioptries. L'œil se trouve dans ce cas.

Dans ce cas général, on a :

Deux points nodaux ;

Deux foyers principaux, et les plans focaux correspondants passant par ces foyers et perpendiculaires à l'axe principal ;

Deux plans principaux directs ;

Deux plans antiprincipaux.

Tous ces points et plans cardinaux ont les mêmes propriétés que dans les cas que nous venons de passer en revue.

Ils sont, suivant les circonstances, distribués de façons différentes sur l'axe principal, mais satisfont toujours aux conditions suivantes :

Le plan principal P et le plan antiprincipal Q sont symétriques par rapport au plan focal F.

De même, le plan principal P' et le plan antiprincipal Q' sont symétriques par rapport au plan focal F'.

Les plans P et P' sont situés l'un à droite et l'autre à gauche du foyer correspondant F ou F'. Il en est, par suite, évidemment de même de Q et de Q'.

Les points nodaux N et N' sont situés du même côté que le plan principal par rapport au foyer correspondant.

La distance des plans principaux et des points nodaux au foyer correspondant est telle que

$$PF = N'F' \text{ et } P'F = NF.$$

Il en résulte que

$$NN' = PP'.$$

On a aussi

$$PF = P' P' \times n,$$

$n$  étant l'indice de réfraction du dernier milieu par rapport au premier.

**Propriété inverse des plans focaux.** — Nous savons que lorsqu'un faisceau de rayons parallèles tombe sur un système réfléchissant ou réfringent quelconque, après la transformation tous les rayons passent par un même point du plan focal qui est le foyer correspondant à la direction des rayons donnés. Ce foyer est facile à trouver, car il est sur l'axe secondaire parallèle aux rayons incidents.

Par suite de la propriété du retour inverse des rayons, si nous avons un point lumineux dans un plan focal, ce point enverra sur le système optique un faisceau conique divergent qui, après transformation, deviendra un faisceau de rayons parallèles entre eux.

Pour avoir la direction de ce faisceau, il suffit de chercher l'axe secondaire correspondant, c'est-à-dire de joindre le point lumineux du plan focal au point nodal correspondant.

La plupart des systèmes centrés dont sont formés les instruments d'optique sont composés de lentilles placées les unes à la suite des autres. Ces lentilles présentent des aberrations chromatiques et des aberrations de réfrangibilité. L'expérience et la théorie font voir que, pour réduire les aberrations du système centré total à leur minimum, il y a intérêt à employer, à distance focale égale, des lentilles de formes diverses convenablement choisies. C'est pour cette raison que l'on fait usage de lentilles plan-convexes, plan-concaves et de ménisques convergents ou divergents.

Dans l'étude des systèmes réfléchissants et réfringents, il se présente deux espèces de problèmes :

- 1° Étant donné un rayon incident, construire le rayon émergent;
- 2° Étant donné un objet, construire son image.

Nous allons examiner successivement ces deux problèmes, et nous verrons que, comme il a été dit plus haut, il nous suffira pour les résoudre, dans chaque cas, de connaître et de faire usage des points et des plans cardinaux.



**Construire le rayon émergent correspondant à un rayon incident donné.** — *Miroirs.* — Considérons un miroir convergent ou divergent avec son plan focal. Soit  $AI$  un rayon incident.

Pour avoir le rayon réfléchi, il suffit de connaître un point de ce rayon réfléchi et sa direction (fig. 324) et (fig. 325).

a. Le rayon donné peut être considéré comme faisant partie d'un faisceau de rayons parallèles; menons l'axe secondaire correspondant à cette direction : cet axe secondaire  $Cf$  rencontre le plan focal en  $f$  qui est le foyer secondaire correspondant à la direction donnée;  $f$  est donc un point du rayon réfléchi.



Fig. 324.

b. Le rayon  $AI$  peut être considéré comme émanant du point  $I$  du plan focal. Or tous les rayons émanant du point  $I$  sont, après la réflexion, parallèles entre eux. L'un d'eux,  $CI$ , est l'axe secondaire qui ne change pas de direction par la réflexion; tous les rayons émanant de  $I$  sont donc, après la réflexion, parallèles à  $CI$ .

Pour avoir le rayon réfléchi correspondant au rayon incident donné, il faut donc mener par  $f$  une parallèle  $fR$  à  $CI$ .

Comme vérification, le rayon incident et le rayon réfléchi doivent se rencontrer au même point  $P$  du plan principal.

Cette construction est absolument générale; elle va se répéter pour les dioptrés, les lentilles et les

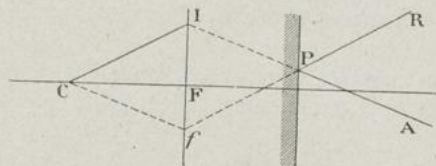


Fig. 325.

systèmes centrés quelconques. Elle n'offre qu'une petite difficulté : il faut éviter de se tromper en confondant les deux plans focaux entre eux ou les deux points nodaux entre eux. Cette confusion se produit surtout facilement avec les systèmes divergents, mais, avec un peu d'attention et de méthode, on évite ce genre d'erreur.

Nous allons simplement indiquer les constructions dans les divers cas, sans répéter le raisonnement, qui est identique à celui que nous venons de faire pour le cas des miroirs.

*Dioptrés.* — Soit  $AI$  le rayon incident; l'axe secondaire corres-

pendant parallèle à  $AI$  et passant par  $C$  rencontre le plan focal  $F$  au point  $f$ , foyer secondaire correspondant à la direction  $AI$  (fig. 326 représentant le dioptré convergent et fig. 327 représentant le dioptré divergent).

$f$  est un point du rayon réfracté.

Tous les rayons partant de  $I$  sont, après réfraction, parallèles à

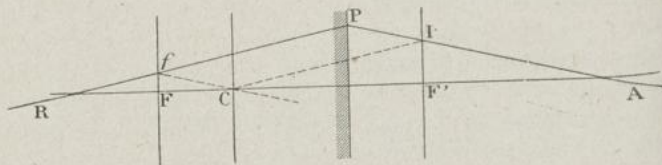


Fig. 326.

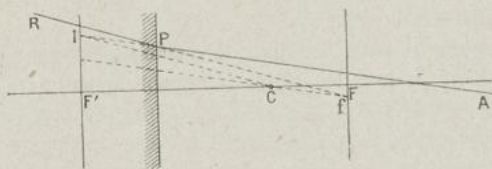


Fig. 327.

l'axe secondaire  $CI$ . Il suffit donc de mener par  $f$  une parallèle  $fB$  et  $CI$  pour avoir le rayon réfracté.

Comme vérification,  $AI$  et  $fR$  doivent se couper au même point  $P$  du plan principal.

*Lentilles* (fig. 328, représentant la lentille convergente et fig. 329, représentant la lentille divergente). — Soit encore  $AI$  le

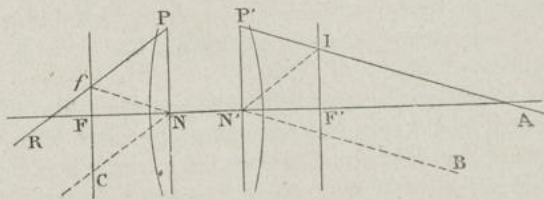


Fig. 328.

rayon incident, l'axe secondaire correspondant est  $BN'Nf$ ; il rencontre le plan focal  $F$  en  $f$ , foyer secondaire correspondant à la direction  $AI$ ;  $f$  est un point du rayon réfracté. Tous les rayons



partant de  $I$  sont, après réfraction, parallèles à l'axe secondaire  $IN'NC$ . Il suffit donc de mener par  $f$  une parallèle  $fR$  à  $IN'$  pour avoir le rayon réfracté. Comme vérification, les rayons incident et réfracté doivent rencontrer les plans principaux en des points  $P$  et  $P'$  également distants de l'axe.

Remarquons que les lignes  $BN'$  et  $NC$  ne sont d'aucune utilité

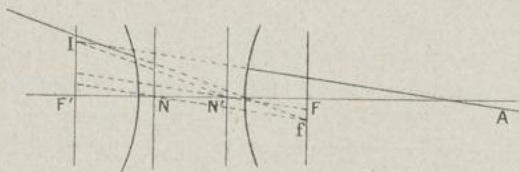


Fig. 329.

dans les constructions; nous les avons seulement menées pour compléter les axes secondaires; mais, dans la pratique, il suffit de

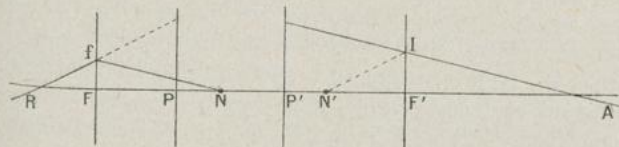


Fig. 330.

tracer  $Nf$  parallèle à  $AI$  pour avoir  $f$  et de tirer  $IN'$  pour avoir la direction du rayon réfracté.

*Système centré quelconque.* — Supposons que, dans un système centré quelconqué (fig. 330), nous soyons arrivés à déterminer les plans focaux,  $F, F'$  et les points nodaux  $N, N'$ ; nous savons que la connaissance de ces derniers est liée à celle des plans principaux, puisque  $NF = P'F'$  et  $N'F' = PF$ .

Nous pourrions, en nous servant des points nodaux et des plans focaux, tracer le rayon réfracté correspondant à un rayon incident quelconque.

Soit  $AI$  le rayon incident; en menant, par  $N, Nf$  parallèle à  $AI$ , on a dans le plan focal  $F$  un point du rayon réfracté. Ce rayon réfracté doit être parallèle à  $IN'$ , c'est donc  $fR$ .

Comme vérification, le rayon incident  $AI$  et le rayon réfracté  $fR$  doivent rencontrer les plans principaux à la même distance de l'axe.

**Détermination des points cardinaux.** — Il faut maintenant voir comment, étant donné un système, on peut déterminer ses points et ses plans cardinaux. Le système centré se compose d'une série de dioptries placés à la suite les uns des autres. Prenons un rayon  $BY$  parallèle à l'axe principal  $AX$ , ce rayon se réfractera à travers les dioptries successifs; après chaque réflexion, nous pourrions construire le rayon réfracté suivant par la construction indiquée plus haut dans le cas des dioptries. Finalement, nous aurons un rayon émergent  $CZ$ . Le point  $F$  où ce rayon  $CZ$  rencontre l'axe principal est le foyer principal du système. Nous

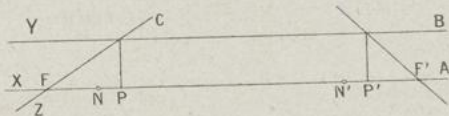


Fig. 331.

savons que le rayon émergent  $CZ$  et le rayon incident  $BY$  doivent couper les plans principaux à la même hauteur;

le plan principal correspondant à  $F$  est donc forcément  $P$ .

Nous ferons la même opération en considérant la lumière venant de gauche à droite. Nous trouverons ainsi un foyer  $F'$  et un plan principal  $P'$ . D'après ce que nous avons dit plus haut sur la constitution des systèmes centrés, nous aurons les points nodaux en prenant  $FN = P'F'$  et  $F'N' = PF$ . Quant aux plans antiprincipaux, ils sont symétriques de  $P$  et  $P'$  par rapport à  $F$  et  $F'$ .

**Construction de l'image d'un objet.** — *Généralités.* — Lorsqu'un objet forme une image dans un système réfléchissant ou réfringent, chaque point de cet objet envoie un faisceau lumineux divergent qui, après réflexion ou réfraction, est transformé en un autre faisceau homocentrique. Pour avoir l'image d'un point, il n'est pas nécessaire de connaître tous les rayons réfléchis ou réfractés, il suffit d'en construire deux : l'image se trouve à leur intersection.

On peut donc, pour trouver l'image d'un point, prendre deux rayons quelconques issus de ce point, chercher les rayons transformés : l'image sera à leur intersection.

Mais, au lieu de prendre deux rayons quelconques, on simplifie beaucoup les constructions en choisissant deux rayons dont il est facile de trouver les rayons transformés.

Les rayons qui se trouvent dans ces conditions sont au nombre de trois :



1° Un rayon parallèle à l'axe; le rayon transformé s'obtient immédiatement en joignant le foyer au point où le rayon incident rencontre le plan principal;

2° Un rayon passant par le foyer principal; le rayon transformé est parallèle à l'axe et passe par le point où le rayon incident coupe le plan principal;

3° Un rayon dirigé suivant l'axe secondaire suit cet axe secondaire sur tout son parcours.

Suivant les cas, on peut choisir deux quelconques de ces trois rayons pour construire l'image d'un point.

Quand on sait construire l'image d'un point, on peut aussi construire l'image d'un objet qui est composé d'une série de points.

Pour étudier comment varie l'image d'un objet dans les divers cas, nous allons, suivant l'usage, prendre pour objet une flèche perpendiculaire à l'axe principal; quand on aura trouvé l'image de la pointe, il suffira, pour avoir l'image de la flèche, d'abaisser une perpendiculaire sur l'axe principal.

Nous allons examiner successivement les différents systèmes réfléchissants et réfringents.

*Miroirs* (fig. 332, pour le miroir convergent et fig. 333, pour le miroir divergent). — Le rayon OA parallèle à l'axe rencontre le

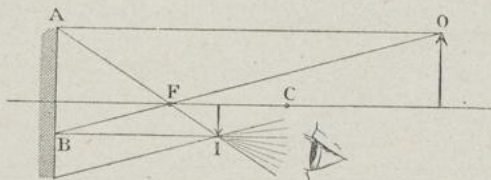


Fig. 332.

plan principal en A et se réfléchit suivant AF; OB passant par le foyer rencontre le plan principal en B et se réfléchit parallèlement à l'axe principal suivant BI; I, point d'intersection des deux rayons réfléchis, est l'image du point O, et l'image de la flèche s'obtient en abaissant de I sur l'axe une petite perpendiculaire.

On a une image en I parce que O envoie sur le miroir un faisceau conique limité par le cadre de ce miroir, et transformé par réflexion en un autre faisceau conique. L'œil placé dans ce faisceau conique émergent perçoit une image.

Cette image est réelle, dans le cas de la figure, pour le miroir

convergent, et virtuelle pour le miroir divergent; mais il ne faudrait pas en conclure qu'il en est toujours ainsi : cela dépend de la position de l'objet.

Lorsque l'objet se déplace le long de l'axe principal, son image varie de position, de grandeur, de sens, de réalité. Le sommet  $O$

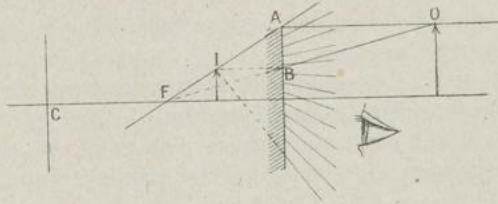


Fig. 333.

de l'objet se trouve toujours sur la parallèle  $OA$  à l'axe principal, par conséquent l'image  $I$  se trouve toujours sur la droite  $AI$ . Cette

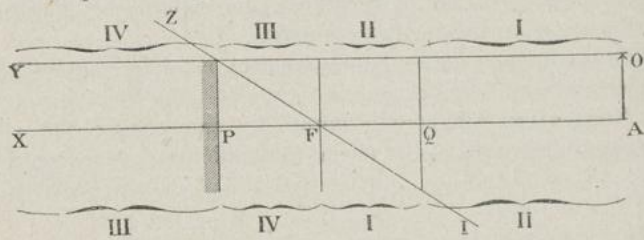


Fig. 334.

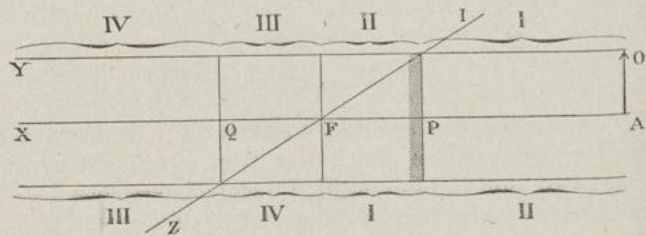


Fig. 335.

droite  $AI$  est ce que l'on appelle la *caractéristique* de l'image de  $O$ .

Il n'y a pas lieu ici de faire la discussion complète des diverses positions que peut prendre l'image lorsque l'objet se déplace;



nous allons résumer les résultats en une figure et un tableau.  
 AX est l'axe principal; l'objet se déplace de l'infini à droite jusqu'à l'infini à gauche, son sommet O restant sur la droite OY. Le sommet I de l'image se déplace sur la caractéristique IZ passant par le foyer principal F.

Le plan focal F, le plan principal P et le plan antiprincipal Q passant par le centre du miroir, et symétrique du plan principal par rapport au foyer, divisent l'espace en quatre zones remarquables. Lorsque l'objet est dans une de ces zones marquée d'un chiffre romain placé au-dessus de l'axe, l'image est dans la zone marquée du même chiffre romain au-dessous de l'axe (fig. 334, pour le miroir convergent et fig. 335, pour le miroir divergent).

*Il est important de remarquer que lorsque l'objet se déplace l'image se déplace en sens contraire; cette règle est générale dans tous les cas de réflexion.*

Certaines positions particulières de l'objet et de l'image sont à remarquer.

Lorsque l'objet est à l'infini, l'image est au foyer.

Lorsque l'objet est au plan antiprincipal, l'image y est aussi.

Lorsque l'objet est au foyer, l'image est à l'infini.

Lorsque l'objet est au plan principal, l'image y est aussi.

Ces règles suffisent pour trouver approximativement et d'une façon rapide la position de l'image correspondante à une position donnée de l'objet.

Une fois cette position trouvée, la caractéristique donne la grandeur de l'image et son sens. Cette image est réelle ou virtuelle suivant qu'elle est en avant ou en arrière de la surface du miroir, c'est-à-dire du plan principal.

On voit ainsi, pour le miroir convergent, que lorsque l'image est dans la zone

I elle est renversée, réelle, plus petite que l'objet;

II elle est renversée, réelle, plus grande que l'objet;

III elle est droite, virtuelle, plus grande que l'objet;

IV elle est droite, réelle, plus petite que l'objet.

Pour le miroir divergent en

I elle est droite, virtuelle, plus petite que l'objet;

II elle est droite, réelle, plus grande que l'objet;

III elle est renversée, virtuelle, plus grande que l'objet;

IV elle est renversée, virtuelle, plus petite que l'objet.

On voit de plus que l'image en F est de dimension nulle;



en P elle est égale à l'objet et droite, en Q égale à l'objet et renversée. A l'infini elle a des dimensions infinies.

Il est aisé de comprendre quelle est la nature de l'objet lorsque cet objet se trouve en avant du miroir et qu'il est réel; mais derrière le miroir l'objet est virtuel. Voici à quoi cela correspond.

Considérons un faisceau convergent formant l'image d'un point lumineux en A, par exemple, fig. 336. Si nous plaçons un miroir sur le trajet des rayons avant leur intersection en A, ces rayons se réfléchiront et donneront une image en A'; A' sera l'image de A, qui n'existe pas en réalité et que l'on appelle un objet virtuel par rapport au miroir.

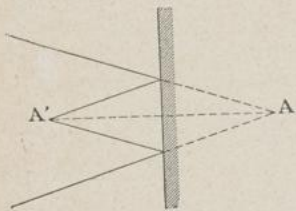


Fig. 336.

*Dioptrés.* — Nous n'avons qu'à reproduire ce que nous avons dit plus haut pour les miroirs, fig. 337,

pour les dioptrés convergents et fig. 338, pour les dioptrés divergents. Le rayon parallèle à l'axe rencontre le plan principal en A et se réfracte suivant AF.

Le rayon OF' passant par le foyer F' rencontre le plan principal en B et se réfracte parallèlement à l'axe principal suivant BI; I,

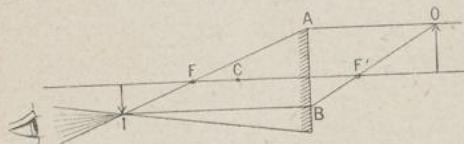


Fig. 337.

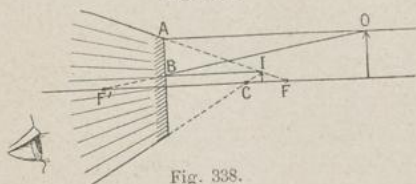


Fig. 338.

point d'intersection des deux rayons réfractés, est l'image du point O, et l'image de la flèche s'obtient en abaissant de I une petite perpendiculaire sur l'axe.

On a une image en I parce que O envoie sur le dioptré un faisceau conique limité par le cadre

du dioptré et transformé par réfraction en un autre faisceau conique ayant son sommet en I. L'œil placé dans ce faisceau conique émergent perçoit une image.

Cette image est réelle, dans le cas de la figure, pour le dioptré convergent et virtuelle pour le dioptré divergent.



Lorsque l'objet se déplace le long de l'axe principal, nous allons retrouver, comme pour les miroirs, une série de variations de sens, de grandeur, de réalité. Il sera encore la caractéristique sur laquelle se déplacera l'image du point O.

Nous allons résumer, comme nous l'avons fait pour les miroirs,

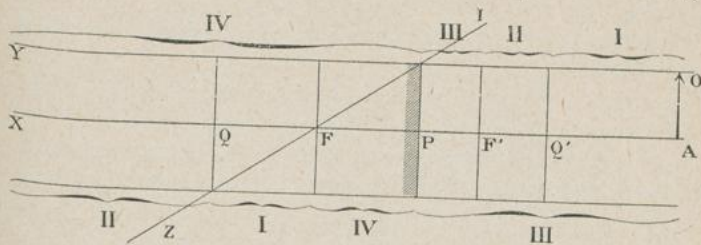


Fig. 339.

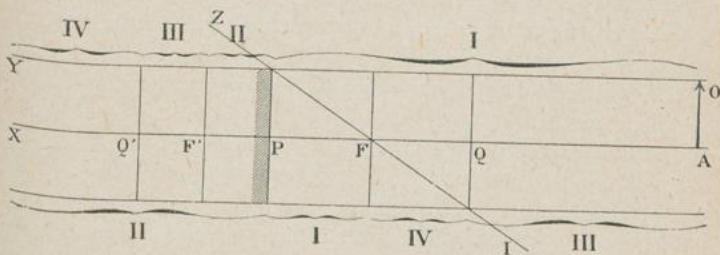


Fig. 340.

les résultats que l'on obtient en étudiant les variations de l'image dans les diverses positions de l'objet.

L'objet peut encore se trouver dans quatre zones remarquables déterminées par le premier plan antiprincipal rencontré par la lumière, le premier plan focal et le plan principal.

L'image se trouve alors successivement dans quatre autres zones déterminées par le plan principal, l'autre plan focal et l'autre plan antiprincipal.

Ces zones diffèrent de celles que nous avons trouvées pour les miroirs, en ce qu'elles empiètent les unes sur les autres. La figure donne la correspondance de ces zones, le chiffre romain placé au-dessus de l'axe indiquant la zone dans laquelle se trouve l'objet, le chiffre romain placé au-dessous donnant la zone correspondante de l'image (fig. 339, pour le dioptré convergent et fig. 340, pour le dioptré divergent).

*Contrairement à ce qui se passe dans la formation des images par réflexion, lors du déplacement de l'objet l'image par réfraction se déplace toujours dans le même sens que l'objet.*

Il est aisé de voir que lorsque l'objet est à l'infini l'image est au foyer.

Lorsque l'objet est au premier plan antiprincipal, l'image est dans l'autre.

Lorsque l'objet est au premier foyer, l'image est à l'infini.

Lorsque l'objet est au plan principal, l'image y est aussi.

Ces règles très simples permettent de trouver rapidement la position approximative de l'image pour une position donnée de l'objet.

Une fois cette position trouvée, la caractéristique donne la grandeur et le sens de l'image. Cette image est réelle ou virtuelle, suivant qu'elle est en avant ou en arrière de la surface du dioptré, c'est-à-dire du plan principal.

On voit ainsi que, pour le dioptré convergent, lorsque l'image est dans la zone

- I elle est renversée, réelle, plus petite que l'objet ;
- II elle est renversée, réelle, plus grande que l'objet ;
- III elle est droite, virtuelle, plus grande que l'objet ;
- IV elle est droite, réelle, plus petite que l'objet.

Pour le dioptré divergent, en

- I elle est droite, virtuelle, plus petite que l'objet ;
- II elle est droite, réelle, plus grande que l'objet ;
- III elle est renversée, virtuelle, plus grande que l'objet ;
- IV elle est renversée, virtuelle, plus petite que l'objet.

On voit de plus que l'image en F est de dimension nulle, en P elle est égale à l'objet et droite, en Q elle est égale à

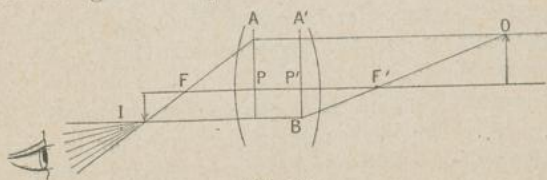


Fig. 341.

l'objet et renversée. A l'infini, elle a des dimensions infinies.

Pour l'interprétation de l'objet virtuel, il n'y a qu'à se reporter à ce que nous avons dit pour les miroirs.



*Lentilles.* — Ici encore il n'y a qu'à reproduire la construction donnée à propos des miroirs et des dioptrés (fig. 341, pour la lentille convergente et fig. 342, pour la lentille divergente).

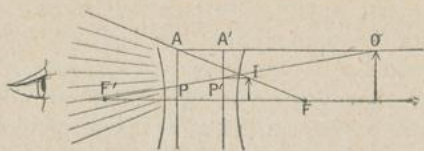


Fig. 342.

Le rayon parallèle à l'axe rencontre le plan principal en  $A'$ ; le rayon réfracté doit passer dans l'autre plan principal à la même

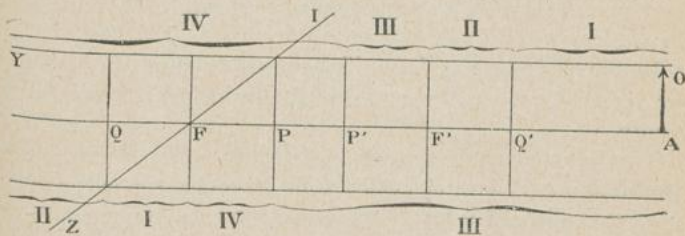


Fig. 343.

distance de l'axe que  $A'$ ; il suffit donc de prolonger le rayon parallèle à l'axe jusqu'en  $A$  :  $AF$  est le rayon réfracté.

Le rayon  $OF'$  passant par le foyer rencontre le plan principal

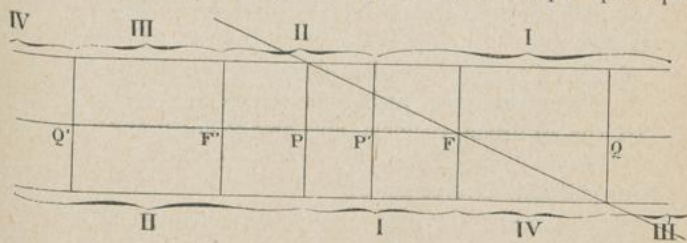


Fig. 344.

en  $B$  et, de là, doit se propager parallèlement à l'axe principal suivant  $BI$ .

$I$ , point d'intersection des deux rayons réfractés, est l'image du point  $O$ , et l'image de la flèche s'obtient en abaissant de  $I$  une perpendiculaire sur l'axe.

On a une image en I parce que O envoie sur la lentille un faisceau conique transformé, par la réfraction, en un autre faisceau conique ayant son sommet en I.

AI est encore la caractéristique suivant laquelle se déplace I, image du point O, lorsque l'objet O se déplace le long de l'axe.

Pour les lentilles, il y a aussi une division en zones. Cette division est représentée sur les figures 343 pour la lentille convergente et figure 344 pour la lentille divergente; en se reportant à ce que nous avons dit pour les miroirs et pour les dioptries, il est facile de saisir la correspondance des images et des objets.

Lorsque l'objet est à l'infini, l'image est au foyer.

Lorsque l'objet est au premier plan antiprincipal, l'image est à l'autre.

Lorsque l'objet est au foyer, l'image est à l'infini.

Lorsque l'objet est au premier plan principal, l'image est à l'autre.

Avec ces règles très simples on peut, dans tous les cas, en se rappelant que l'image et l'objet se déplacent dans le même sens, trouver rapidement la position approximative de l'image pour une position donnée de l'objet.

Une fois cette position trouvée, la caractéristique donne la grandeur et le sens de l'image. Cette image est réelle ou virtuelle suivant qu'elle est en avant ou en arrière de la dernière surface réfringente traversée.

On voit ainsi que, pour la lentille convergente, lorsque l'objet est dans la zone

- I elle est renversée, réelle, plus petite que l'objet;
- II elle est renversée, réelle, plus grande que l'objet;
- III elle est droite, virtuelle, plus grande que l'objet;
- IV elle est droite, réelle, plus petite que l'objet.

Pour la lentille divergente, en

- I elle est droite, virtuelle, plus petite que l'objet;
- II elle est droite, réelle, plus grande que l'objet;
- III elle est renversée, virtuelle, plus grande que l'objet;
- IV elle est renversée, virtuelle, plus petite que l'objet.

On voit aussi que l'image est de dimension nulle en F, en P elle est égale à l'objet à droite, en Q elle est égale à l'objet et renversée.



II

PUISSANCES DES SYSTÈMES CENTRÉS

En général, quand on veut indiquer la valeur optique d'un miroir ou d'une lentille, on donne sa distance focale.

Pour les lentilles employées en ophtalmologie on a opéré autrement. Pendant longtemps ces lentilles étaient désignées par un numéro représentant en pouces le rayon de courbures des faces, on n'employait en effet guère que des lentilles biconvexes ou biconcaves, et dire qu'une lentille de cette sorte avait le n° 40 par exemple, signifiait que les deux faces avaient 10 pouces de rayon de courbure. Par une coïncidence heureuse, ce numéro donnait ainsi très sensiblement la distance focale de la lentille en pouces. Cela tient à la valeur de l'indice de réfraction du verre généralement employé pour la fabrication de ces lentilles. En prenant des matériaux d'indice différent on aurait des lentilles qui à même numéro ne posséderaient pas des propriétés optiques identiques.

Ce système avait de nombreux inconvénients. D'abord, par suite de l'inégalité d'indice et des diverses valeurs du pouce dans les différents pays, on ne savait jamais quelle était la valeur exacte d'un verre correcteur. En second lieu on se heurtait à une difficulté d'ordre pratique quand on en voulait connaître l'effet produit par la superposition de deux verres, opération fréquente en oculistique. Prenons par exemple un verre convergent n° 4 et un verre convergent n° 6 et superposons-les, quel sera le verre équivalent au système résultant de cette superposition? On ne peut le savoir sans un calcul, qu'il est malaisé de faire au cours d'un examen de réfraction. Enfin il n'était pas très logique de voir le numéro des verres diminuer quand leur effet allait en croissant et inversement.

Le système actuellement en usage remédie à tous ces inconvénients, il est basé sur ce que l'on appelle la puissance des lentilles.

Considérons une lentille, convergente par exemple, ayant 1 m. de distance focale (fig. 345). Les rayons qui tomberont sur cette lentille parallèlement à l'axe principal, s'entrecroperont, après

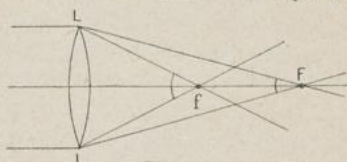


Fig. 345.



réfraction, au foyer F situé sur l'axe principal à 1 m. de la lentille.

On dit, par convention, que cette lentille a l'unité de puissance, et cette unité a été nommée *la Dioptrie*. Si la distance focale de la lentille diminue et devient par exemple égale à un demi-mètre, les rayons qui tombent sur cette lentille parallèlement à l'axe seront plus convergents que dans le cas précédent, l'angle L/L est double de l'angle LFL, on dit que la puissance a doublé, c'est-à-dire que la nouvelle lentille a 2 dioptries de puissance. Si la distance focale devient un tiers de mètre, la puissance de la lentille deviendra 3 dioptries, et ainsi de suite.

Donc, pour avoir la puissance d'une lentille évaluée au moyen de la dioptrie, il faut mesurer la distance focale de cette lentille en mètres et diviser l'unité par le nombre ainsi trouvé.

Le premier avantage de ce système est qu'au point de vue optique la valeur d'une lentille est parfaitement définie par son nombre de dioptries, quel que soit le rayon de courbure de ses faces et l'indice de réfraction de la matière employée pour la faire. Pour distinguer les lentilles convergentes des lentilles divergentes on les affecte du signe + et du signe -. Ainsi une lentille de + 3 dioptries est une lentille convergente ayant un tiers de mètre de distance focale. Une lentille de - 5 dioptries est une lentille divergente ayant un cinquième de mètre de distance focale.

Le deuxième avantage est que dans la superposition des verres les puissances s'ajoutent, en tenant compte de leurs signes. Ainsi plaçons une lentille de + 2 dioptries sur une lentille de + 5 dioptries, nous obtiendrons un système équivalent à une lentille unique ayant + 7 dioptries. Plaçons une lentille de + 2 dioptries sur une lentille de - 5 dioptries, nous obtiendrons un système équivalent à une lentille unique ayant - 3 dioptries. Ceci n'a lieu, il importe de le remarquer, que pour deux lentilles minces appliquées l'une sur l'autre, au contact. Si on les sépare, la loi d'addition est en défaut, d'autant plus que l'intervalle entre les deux lentilles est plus important.

On a généralisé la définition de la puissance en l'appliquant aux miroirs, aux dioptries et aux systèmes centrés quelconques, et l'on considère que dans tous les cas la puissance d'un système optique centré s'obtient en divisant l'unité par la valeur de la distance focale mesurée en mètres. Dans ces cas, comme on ne peut plus faire la superposition au contact, les puissances ne s'ajoutent



plus. Ainsi si l'on superpose deux objectifs de microscope, leurs puissances ne s'additionnent pas.

On trouve encore dans le commerce beaucoup de bésicles numérotées suivant l'ancien système, et bien des personnes ne connaissent leur verre correcteur que par son numéro. Il importe donc de savoir quelle est la correspondance entre les deux systèmes, l'ancien et le nouveau.

Cette correspondance ne peut être parfaite, puisque dans l'ancien système, comme il a été dit plus haut, un numéro ne correspond pas à un verre bien défini. Pratiquement on a un résultat satisfaisant en appliquant une formule d'après laquelle le produit du numéro par la valeur en dioptries donne un nombre constant 40. Ainsi, pour toute lentille, si l'on multiplie son numéro ancien par sa puissance en dioptries, on obtient 40, environ. Si donc on a le numéro, il suffit de diviser 40 par ce numéro pour avoir la puissance en dioptries, ou inversement, si on a la puissance, en divisant 40 par cette puissance on a le numéro. Ainsi un n° 8 équivaut à 5 dioptries et un verre de 4 dioptries à un n° 10.

L'ophtalmologiste doit avoir à sa disposition une collection des diverses lentilles nécessaires à la correction des amétropies. Ces lentilles sont aujourd'hui graduées en dioptries et rangées méthodiquement dans une boîte; c'est ce qu'on l'on désigne sous le nom de boîte d'optique.

Cette collection sert non seulement à faire des examens d'amétropies comme il sera indiqué plus loin, mais aussi à déterminer la valeur d'un verre porté par un sujet. Cette détermination est très importante: il faut, quand une personne se présente chez l'ophtalmologiste, que celui-ci puisse reconnaître le verre qu'elle porte habituellement, et cela pour diverses raisons. Il peut arriver, entre autres, que ce verre, donné par un autre médecin, ait à un certain moment parfaitement corrigé la vision du sujet; on saura alors si l'amétropie a varié depuis le moment de cette correction jusqu'au moment actuel.

Pour déterminer la valeur d'un verre on se base sur la loi d'addition des puissances. On commence par rechercher si le verre est convergent ou divergent. Pour cela on le place près de son œil et on regarde un objet éloigné. On balance le verre de gauche à droite ou de bas en haut, et l'on voit les images des objets éloignés se déplacer. Si elles se déplacent dans le même sens que le mou-



vement donné à la lentille, celle-ci est divergente; si elles se déplacent en sens contraire la lentille est convergente.

Ceci fait, on prend dans la boîte d'optique un verre d'espèce contraire au verre examiné, on les superpose et on recommence la même opération. On finit par trouver rapidement avec un peu d'habitude, un verre qui annule le verre étudié, c'est-à-dire qui lui étant superposé donne un ensemble se comportant comme une lame à faces parallèles. En la déplaçant de haut en bas devant l'œil, les images des objets éloignés ne bougent pas. A ce moment les deux verres ont la même puissance, l'un étant positif, l'autre négatif. Il suffit de lire la puissance du verre pris dans la boîte d'optique pour avoir celle du verre étudié.

## III

## ŒIL RÉDUIT

Pour arriver jusqu'à la rétine, la lumière traverse les milieux transparents de l'œil qui la réfractent et donnent sur cette rétine des images réelles des objets extérieurs. C'est à la formation de ces images que nous devons la vision des objets.

Les milieux transparents de l'œil rencontrés successivement par la lumière sont la cornée, l'humeur aqueuse, le cristallin et l'humeur vitrée. L'humeur aqueuse est séparée de l'air par la cornée à laquelle nous pouvons attribuer une forme sphérique. L'indice de réfraction de l'humeur aqueuse et de l'humeur vitrée est très sensiblement égal à  $4/3 = 1,33$ , celui du cristallin un peu supérieur et égal à 1,42 environ.

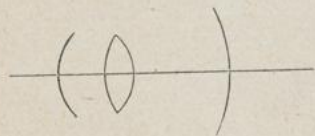


Fig. 346.

La cornée se comporte comme une lame à faces parallèles mince, il n'y a pas lieu de tenir compte de la réfraction qu'elle produit et l'on peut admettre que tout se passe comme si l'humeur aqueuse était en contact direct avec l'air.

Lorsque les rayons lumineux issus d'une source extérieure tombent sur l'œil, ils se réfractent successivement à travers la cornée, la face antérieure et la face postérieure du cristallin, avant d'arriver à la rétine. Il faut donc dans chaque cas particulier







nodal unique ou centre optique, situé à 7 mm. 15 — 2 mm. 45 = 5 mm. derrière ce plan principal. Enfin un autre foyer principal se trouve à 22 mm. 2 — 7 mm. 15 = 15 mm. 05 derrière le centre optique. Cette distribution est représentée sur la figure 347.

Tout système optique équivalent à l'œil doit avoir cette distribution des foyers, points nodaux et plans principaux. On voit

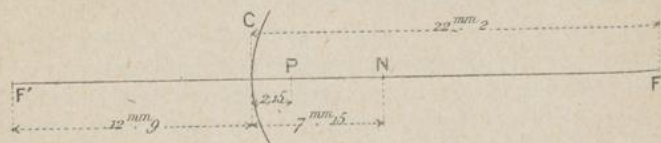


Fig. 347.

immédiatement que le système optique de l'œil ne peut être assimilé à une lentille, puisque dans toute lentille les points nodaux se trouvent dans les plans principaux, et dans le cas des lentilles très minces où l'on ne considère plus qu'un centre optique et un plan principal, le centre optique est dans le plan principal. De plus,

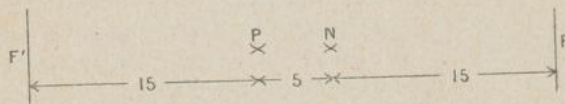


Fig. 348.

dans toute lentille les distances des foyers au plan principal sont égales, ce qui n'a pas lieu dans le cas de la figure (fig. 348).

Considérons au contraire un dioptré dont le centre soit en N et qui ait 5 mm. de rayon, c'est-à-dire dont le sommet soit en P. Pour un pareil dioptré le centre optique unique serait en N, le plan principal en P. De plus si son indice de réfraction est égal  $\frac{PF}{PF_1} = \frac{4}{3}$  on démontre que ses foyers seront en F et F<sub>1</sub>. Un pareil dioptré remplit précisément les conditions voulues pour être équivalent à l'œil. En effet il a les mêmes points et plans cardinaux, et nous savons que deux systèmes qui ont les mêmes points et plans cardinaux peuvent se substituer l'un à l'autre.

Donc, dans toutes les études de réfraction que l'on voudra faire sur l'œil, on pourra remplacer le système optique de cet œil par un dioptré ayant son centre au point N situé à 7 mm. 15 en arrière de la cornée, 5 mm. de rayon et un indice de réfraction égal à 4/3.



Ce dioptre aura un foyer à 15 mm. en avant de son plan principal et un autre à 20 mm. en arrière.

Ceci se rapporte à ce que l'on appelle l'œil normal moyen; il est bien entendu qu'il peut y avoir des variations individuelles d'une personne à l'autre, certaines de ces variations sont très importantes et seront étudiées plus loin.

De plus, tout ce que nous avons dit se rapporte à l'œil non accommodé; nous allons voir ce que signifie l'œil non accommodé et son passage à l'état d'accommodation.

Le dioptre par lequel on peut remplacer le système optique de l'œil normal moyen est ce que l'on appelle l'œil réduit de Listing.

## IV

## VISION

*Emmétropie.*

La lumière étant censée venir de gauche à droite dans le cas de la figure, la rétine se trouve au voisinage du plan focal passant par F.

Supposons d'abord qu'il y ait coïncidence entre cette rétine et le plan focal, la cornée se trouvant en CC' et le dioptre par lequel on peut remplacer tous les milieux réfringents de l'œil étant en P

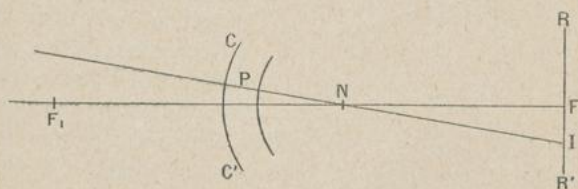


Fig. 349.

avec son centre en N. Un point lumineux situé à l'infini à gauche enverra sur l'œil un faisceau de rayons parallèles entre eux : ces rayons, après réfraction, se couperont, comme on sait, en un point du plan focal F, c'est-à-dire que le point lumineux de l'infini donnera une image nette sur la rétine. Pour avoir la position de cette image, il suffit de joindre le point de l'infini à N et de le prolonger jusqu'en I. Nous savons en effet que NI est un rayon qui n'est pas



dévié par la réfraction, c'est l'axe secondaire du point dont on cherche l'image.

Nous verrons plus loin que la puissance de l'œil peut varier avec ce que l'on appelle son *état d'accommodation*. — Lorsque l'œil est à son minimum de puissance, on dit qu'il est *désaccommodé* ou *non accommodé*.

L'œil, *non accommodé*, pour lequel la rétine coïncide avec le plan focal  $F$  est dit emmétrope. Pour cet œil, non accommodé, l'image d'un point ou, bien entendu, de plusieurs points, c'est-à-dire d'un objet situé à l'infini, est sur la rétine. Donc, pour avoir l'image d'un point à l'infini il suffit de mener l'axe secondaire correspondant et de prendre son intersection avec la rétine.

### Accommodation.

L'étude de l'œil nous montre que la vision d'un objet est nette lorsque cet objet forme son image réelle sur la rétine, à travers les milieux réfringents de cet œil. Si l'image tombe en avant ou en arrière de la rétine, un point lumineux extérieur ne donne plus sur la rétine une image punctiforme, mais il se forme un petit cercle

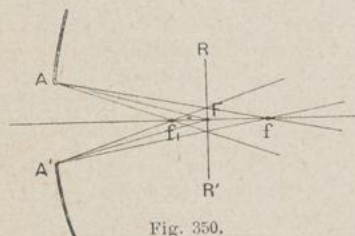


Fig. 350.

éclairé dit cercle de diffusion, d'autant plus grand que l'image est plus en avant ou en arrière de la rétine. Ceci se conçoit à la simple inspection de la figure 350.

Supposons la rétine représentée par  $RR'$ ; après réfraction un faisceau venant d'un point extérieur donne un faisceau  $AFA'$  convergent en un point  $F$  de la rétine. L'image sur la rétine sera un point. Supposons maintenant que le faisceau converge en  $f$ , on voit que la tache lumineuse formée par  $A/A'$  sur la rétine  $RR'$  sera d'autant plus grande que  $f$  est plus éloigné vers la droite. Pour un faisceau se coupant en  $f_1$ , en avant de la rétine, la tache sera d'autant plus grande que  $f_1$  sera plus écarté vers la gauche.

Si maintenant on observe un objet composé d'une série de points, pour que l'image sur la rétine soit la reproduction de cet objet, et que l'on ait une impression nette de cet objet, il faut que chaque point donne une image punctiforme. Si, au contraire, chaque



point donne une tache, ces taches se confondent plus ou moins les unes avec les autres, on ne verra pas les détails de l'objet (fig. 351).

Ceci dit, considérons un objet, un point lumineux, à l'infini devant un œil emmétrope, non accommodé, nous savons que l'image nette de ce point se forme sur la rétine. Supposons maintenant que le point se rapproche de l'œil, se déplaçant de gauche à droite dans le cas de nos figures, nous savons que l'image de ce point doit aussi se déplacer de gauche à droite; par conséquent elle va passer derrière la rétine et la vision cessera d'être nette.



Fig. 351.

Pour que l'image continue à se trouver sur la rétine, il faut de deux choses l'une : ou bien que la rétine se déplace par rapport au système optique, c'est-à-dire que l'œil s'allonge, ou bien que la puissance réfringente de l'œil augmente.

L'expérience prouve que l'œil emmétrope, qui peut voir nette-

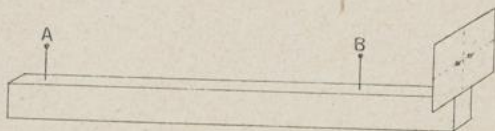


Fig. 352.

ment les objets à l'infini, continue à avoir la vision nette lorsque ces objets se rapprochent de lui; pour cela il fait entrer en jeu son *accommodation*. Il y a une limite à ce phénomène, c'est-à-dire

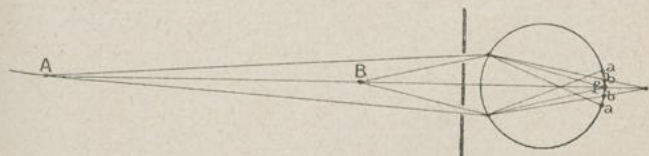


Fig. 353.

qu'il y a une distance en deçà de laquelle on ne peut pas rapprocher les objets en continuant à les voir nettement. Cette distance est dite *distance minima de la vision distincte*; le point auquel se trouve l'objet quand cette distance est atteinte est le *punctum proximum*; on est arrivé à la limite de l'accommodation.

Examinons d'un peu plus près le mécanisme de cette accom-



modation. D'abord nous allons montrer que lorsqu'on regarde un objet à l'infini, l'image des objets rapprochés se forme derrière la rétine, et que lorsqu'on accommode sur des objets rapprochés, l'image des objets éloignés se forme en avant de la rétine. Ceci se met en évidence grâce à l'expérience du P. Scheiner. Voici en quoi elle consiste :

Piquons sur une règle deux épingles A et B, et plaçons à l'extrémité de cette règle une carte percée sur une horizontale de deux trous d'épingle voisins de 2 à 3 mm. (fig. 352). Regardons à travers ces deux trous les deux épingles; nous constatons qu'en fixant A, B nous paraît double, en fixant B c'est A qui nous paraît double. Si maintenant fixant A, et B paraissant double, nous venons, avec un petit écran, à boucher un des trous, l'image de B, du côté opposé au trou bouché disparaît. Si, au contraire, nous fixons B, A paraissant double, on bouche un trou, c'est l'image du même côté qui disparaît. Voici l'explication du phénomène.

Quand on fixe A, les rayons issus de A se coupent sur la rétine en *f* en donnant une image nette (fig. 353). Les rayons partis de B se coupent derrière la rétine, mais les deux trous du petit écran ne laissent passer que deux petits pinceaux lumineux, donnant sur la rétine deux très petites taches *b, b*, cela donne lieu à une vision double de B. Si l'on bouche un des trous de l'écran, l'image *b* du même côté disparaît, mais comme, par suite du renversement des images sur la rétine, nous extériorisons toujours une impression de sens contraire à ce qui se passe sur cette rétine, il nous semble que c'est l'image du côté opposé qui disparaît.



Fig. 351.

Le même raisonnement explique ce qui se passe quand on fixe B et que A paraît double.

Les choses se passent donc bien comme nous l'avons dit; mais l'accommodation peut s'expliquer soit par un déplacement de la rétine au moment de l'accommodation, soit par une augmentation de réfringence de l'œil.

L'expérience de Purkinje va nous montrer que c'est cette deuxième explication qu'il faut adopter.

Si l'on se met dans l'obscurité, et que l'on observe les images d'une bougie qui se forment par réflexion sur les surfaces de l'œil d'un sujet tourné du côté de cette bougie, on aperçoit généralement trois images.

L'une est très facile à voir, elle est brillante et de dimension



suffisante pour ne pas pouvoir échapper à l'observateur. Elle se forme par réflexion sur la face antérieure de la cornée faisant office de miroir convexe. Elle est droite, sa pointe est dirigée vers le haut. La deuxième image est plus grande que la première, mais elle est beaucoup plus pâle; il faut une certaine habitude pour la voir, elle est aussi droite et provient de la réflexion sur la face antérieure du cristallin. Enfin la troisième image est très brillante, mais très petite, elle est renversée et provient du miroir concave formé par la face postérieure du cristallin (fig. 354).

Si la personne que l'on observe dirige son regard au loin, les trois images se présentent à peu près sous l'aspect 1, 2, 3. Si cette personne vient à accommoder, les images 1 et 3 ne subissent aucune modification appréciable, 2 devient plus brillante et plus petite. Du moment que 2 devient plus petite cela prouve que la courbure du miroir qui la produit, c'est-à-dire de la face antérieure du cristallin augmente.

Helmholtz, qui a étudié ce phénomène de très près, a montré que dans le maximum d'accommodation, le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin peut passer de 10 mm. à environ 6 mm. En même temps cette face se porte légèrement en avant, l'épaisseur du cristallin augmentant. Le rayon de la face postérieure diminue d'une façon à peine appréciable, il passe de 6 mm. à 5 mm. 5.

Quel est enfin le mécanisme de cette variation de courbure du cristallin?

Pendant longtemps on avait adopté l'explication suivante proposée par Helmholtz. Le cristallin est suspendu dans l'œil et maintenu en place par la zone de Zinn qui s'insère sur tout le pourtour du cristallin. A l'état de repos cette zone de Zinn serait tendue de façon à exercer sur tout le pourtour du cristallin une traction centrifuge. Il en résulterait un aplatissement d'avant en arrière de ce cristallin.

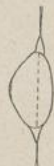


Fig. 355.

Lors de l'accommodation, il y aurait relâchement de la zone de Zinn, et par suite de son élasticité naturelle le cristallin se courberait davantage.

Helmholtz n'avait proposé cette explication que comme une hypothèse, mais ses successeurs ont été plus affirmatifs que lui et peu à peu l'ont donnée comme un fait démontré.

Dans ces dernières années Tscherning a repris la question par



l'expérience et a établi une théorie beaucoup plus vraisemblable de l'accommodation. Il a d'abord fait remarquer que lors de la vision rapprochée ce n'est que le milieu du cristallin dont la courbure augmente; les parties périphériques s'aplatissent au contraire, de sorte qu'il y a passage

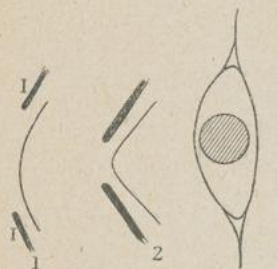


Fig. 356.

Fig. 357.

de la face antérieure du cristallin, d'une forme analogue à 1 à une forme 2, l'effet étant exagéré sur la figure 356.

En même temps l'iris, très dilaté dans la vision éloignée et formant une large pupille, rétrécit cette pupille pour éliminer les rayons marginaux qui troubleraient la netteté de l'image fournie par les rayons centraux.

Ceci étant, M. Tscherning fait remarquer que le cristallin se compose d'un noyau central dur entouré d'une écorce plus molle (fig. 357).

Si, au moment de l'accommodation la zone de Zinn exerce une traction centrifuge sur tout le pourtour du cristallin, les régions marginales s'aplatissent, tandis que la partie centrale se moule sur le noyau dur. Comme ce noyau a une courbure plus grande que la face antérieure du cristallin, on conçoit comment cette face antérieure augmente de courbure. A mesure que l'on avance en âge, le volume du noyau central augmente, l'accommodation se fait moins bien; quand il a envahi tout le cristallin elle devient nulle.

#### Amplitude d'accommodation.

Considérons de nouveau l'œil emmétrope regardant à l'infini, puis accommodant de plus en plus à mesure que l'objet regardé se rapproche. On peut remplacer cette accommodation



Fig. 358.

par l'adjonction d'une lentille convergente convenablement choisie dans chaque cas et placée devant l'œil restant au repos. En effet si l'œil veut regarder le point A, il peut ou bien accommoder sur A, ou bien il suffira de placer devant l'œil non accommodé une lentille convergente dont le foyer sera en A (fig. 358). Nous savons en effet



que tous les rayons qui partent de A et tombent sur la lentille L, seront parallèles entre eux après le passage à travers cette lentille; ils se comporteront comme s'ils venaient d'un point à l'infini et formeront par suite une image nette sur la rétine. La lentille L peut donc remplacer l'accommodation pour voir en A, et l'on peut aussi exprimer la valeur de l'accommodation par la puissance de la lentille qui produit le même effet.

Il en résulte que pour voir à 1 m., un emmètre accommodera d'une dioptrie, pour voir à  $1/2$  m., de deux dioptries et ainsi de suite. Nous avons dit qu'il y avait pour toute personne une limite à cette accommodation, la puissance de cette accommodation limite est ce que l'on nomme *l'amplitude d'accommodation*. Ainsi un emmètre qui a 10 dioptries d'amplitude d'accommodation peut voir de l'infini jusqu'à  $1/10$  de m. de son œil.

Tout ceci n'est vrai que pour l'emmetrope : il ne faut pas le perdre de vue; nous dirons plus loin ce qui se passe quand cette condition n'est plus remplie.

Avec l'âge l'amplitude d'accommodation va en diminuant; quand elle devient insuffisante pour les besoins des occupations auxquelles on se livre, on dit qu'on est devenu presbyte. Il y a lieu de remarquer que par suite même de ce qui vient d'être dit, la presbytie n'est pas un état bien défini; un horloger ou un graveur dont le travail exige la vision de petits détails, et, par suite, la vision très rapprochée, se considérera comme presbyte, alors qu'un travailleur d'un autre corps de métier sera très satisfait encore de sa vue. En général, une des nécessités de vision rapprochée la plus commune à tous les individus étant la lecture des caractères ordinaires d'imprimerie, et cette lecture, pour être facile, nécessitant une vision à 30 ou 35 cm. environ, on considère que la presbytie commence quand l'emmetrope n'a plus à sa disposition que 3 dioptries d'amplitude d'accommodation environ. Aux approches de la cinquantaine, l'emmetrope commence à éprouver une véritable gêne par suite de sa presbytie, il faut alors suppléer à l'accommodation naturelle par une accommodation artificielle, c'est-à-dire porter des lunettes à verres convergents. A mesure que l'on avance en âge la puissance de ces verres devra être forcée de plus en plus; vers soixante-dix ans l'accommodation naturelle est près d'être nulle. L'expérience prouve qu'on a une vision rapprochée suffisante en portant, au début, entre quarante-cinq et cinquante ans, des lentilles de 1 dioptrie et forçant de  $1/2$  diop-



trie leur puissance par cinq années d'augmentation d'âge. Il est aisé de démontrer aussi que le secours apporté à l'accommodation par des verres convergents dépend de la position de ces verres par rapport à l'œil, il y a intérêt à les éloigner de l'œil. C'est pourquoi l'on voit les presbytes ayant choisi des lentilles correctrices qui leur convenaient, et sentant ces lentilles devenir peu à peu insuffisantes, les portent de plus en plus vers l'extrémité du nez.

## V

## AMÉTROPIES

*Myopie.*

Nous avons vu que dans l'œil emmétrope, la rétine se trouve en coïncidence avec le plan focal de l'œil non accommodé. Il peut arriver que la rétine se trouve en arrière du plan focal, les images des objets à l'infini se font alors en avant de la rétine, il ne se forme plus d'image nette sur cette rétine et la vision



Fig. 359.

est imparfaite. On dit dans ce cas que l'œil est myope. Son diamètre antéro-postérieur est trop grand pour la puissance de son système optique, ou ce qui, au point de vue de la formation nette des images, revient au même, la puissance de son système optique est trop grande pour la longueur de son diamètre antéro-postérieur.

L'œil myope ne peut donc voir nettement à l'infini lorsqu'il n'accommodé pas, il est évident que l'accommodation ne peut corriger cette imperfection puisque son effet serait d'augmenter encore la puissance de l'œil, c'est-à-dire d'accentuer son défaut. Déplaçons le point lumineux de l'infini en le rapprochant de l'œil, nous savons que l'image se déplacera dans le même sens, elle se rapprochera de la rétine qu'elle finira par atteindre quand le point lumineux regardé sera en P. P est donc le point où doivent se trouver les objets pour que l'œil myope les voie sans accommodation, c'est aussi le point le plus éloigné où l'œil peut voir distinctement, c'est pourquoi il porte le nom de *punctum remotum*. Si l'objet regardé s'approche de plus en plus de l'œil,



l'accommodation devra entrer en jeu et l'on pourra, comme pour l'œil emmétrope, voir nettement jusqu'à un certain point  $p$ , *punctum proximum*, auquel correspondra le maximum d'accommodation.

L'expérience prouve que le *punctum proximum* de l'œil myope est généralement plus rapproché que celui de l'œil emmétrope. Cela se conçoit du reste aisément. Un œil myope peut être assimilé à un œil emmétrope muni d'une lentille convergente, puisque l'œil myope est plus puissant que l'œil emmétrope. Si ces deux yeux ont la même amplitude d'accommodation, c'est-à-dire peuvent faire croître de la même quantité leur puissance, il est évident qu'au maximum d'accommodation l'œil myope l'emportera en puissance sur



Fig. 360.

l'œil emmétrope. Or Donders a précisément montré qu'à un même âge tous les yeux ont la même amplitude d'accommodation. Nous verrons plus loin comment cette amplitude d'accommodation se détermine chez le myope.

Le degré de myopie d'un œil varie suivant la distance de son *punctum remotum*; ce degré de myopie peut se caractériser par un chiffre.

Considérons un œil myope dont le *punctum remotum* soit en  $P$  (fig. 360) et plaçons devant cet œil une lentille divergente dont le foyer soit aussi en  $P$ , par ce fait l'œil sera corrigé, ramené à l'emmétropie, autrement dit il verra nettement à l'infini sans accommodation.

En effet, un point lumineux à l'infini enverra sur l'œil des rayons parallèles entre eux. Après le passage à travers la lentille, ces rayons divergeront comme s'ils partaient de  $P$ , par suite de la propriété connue des foyers. Donc ils arriveront à l'œil non accommodé comme s'ils partaient de  $P$  et formeront une image nette sur la rétine.

La lentille  $L$  est donc la lentille qui ramène cet œil à l'emmétropie, c'est sa lentille correctrice.

La lentille correctrice d'un œil myope mesure sa myopie, par définition. C'est-à-dire qu'une myopie de 1, 2, 3... dioptries est une myopie corrigée par une lentille divergente de 1, 2, 3... dioptries.



Pour évaluer l'amplitude d'accommodation d'un œil myope, comment va-t-on opérer?

Ramenons d'abord l'œil à l'emmétropie par son verre correcteur, puis raisonnons sur lui comme on a raisonné précédemment sur l'œil emmétrope. L'amplitude d'accommodation de l'œil myope est donc mesurée par le verre convergent qui lui permettrait de voir, sans accommodation, au *punctum proximum* qu'il a après correction.

### Hypermétropie.

La rétine peut enfin se trouver en avant du plan focal, l'œil est trop court ou bien il n'est pas assez puissant, les images des objets à l'infini se forment derrière la rétine quand il n'accomode pas.

L'œil hypermétrope ainsi défini peut néanmoins voir à l'infini; il lui suffit pour cela de faire entrer en jeu son accommodation, pour augmenter la puissance de son système optique. Il se distingue donc de l'œil emmétrope en ce que, pour voir à l'infini, il est obligé d'avoir recours à son accommodation, tandis que l'œil emmétrope reste au repos. Bien entendu, lorsque l'objet regardé se rapproche de plus en plus, l'œil hypermétrope forcera de plus en plus son accommodation jusqu'à une certaine limite qu'il ne pourra dépasser, l'objet se trouvant alors au *punctum proximum*. Ce *punctum proximum* sera généralement plus éloigné de l'œil que celui de l'emmétrope, car, à partir de l'infini, il reste à l'hypermétrope moins d'accommodation disponible qu'à l'emmétrope.

Pour corriger l'hypermétrope, c'est-à-dire pour lui permettre de voir à l'infini sans accommodation, il faut remplacer cette accommodation par un verre convergent. La puissance de ce verre convergent mesurera le degré d'hypermétropie.

Une fois muni de son verre correcteur, l'hypermétrope se comportera absolument comme un emmétrope, et son amplitude d'accommodation se définira de la même façon.

**Procédé pour distinguer le myope et l'hypermétrope de l'emmétrope, et les corriger.** — Si l'on veut distinguer les trois genres de vue que nous venons d'étudier, en admettant qu'il n'y ait pas d'autre anomalie de la vision, voici comment il faut opérer.

On demande au sujet de regarder un objet très éloigné. S'il ne le voit pas nettement il est certainement myope. On placera alors



devant l'œil des verres divergents de puissance croissante jusqu'à ce que la personne examinée voie nettement à l'infini; le plus faible verre qui donnera ce résultat sera le verre correcteur, il mesurera la myopie.

Si le sujet voit nettement à l'infini, il peut être emmétrype ou hypermétrope. Plaçons devant l'œil examiné un verre convergent faible. Si la vue est troublée, on avait affaire à un emmétrype, car la plus faible augmentation de puissance par suite de l'adjonction d'un verre convergent l'a fait passer à la myopie.

Si, au contraire, le sujet continue à voir nettement avec le verre convergent, cela prouve qu'on lui corrige une partie de son hypermétropie. Il continue à voir à l'infini en relâchant une partie de son accommodation naturelle, remplacée par l'accommodation artificielle de la lentille convergente. On prendra des verres de plus en plus puissants, et le verre le plus puissant qui lui permette de voir nettement à l'infini le rendra emmétrype, ce sera le verre correcteur. Si, à partir de ce moment, on continuait à forcer le verre, on passerait à la myopie, la vue se troublerait.

REMARQUE. — L'hypermétropie et la presbytie se corrigent au moyen des mêmes verres, les verres convergents, mais il ne faut pas confondre ces deux états, et les opposer, comme on le fait trop souvent, à la myopie. En effet l'hypermétropie est liée à une trop faible réfringence de l'œil au repos, elle se rapporte à la vision éloignée, elle est l'opposé de la myopie; elle se rencontre à toute époque de la vie et surtout dans le jeune âge. La presbytie est liée à une diminution du pouvoir accommodatif de l'œil, elle vient avec l'âge et se rapporte à la vision rapprochée. On doit si peu l'opposer à la myopie que l'on peut à la fois être myope et presbyte. Supposons, en effet, un myope de 4 dioptrie; d'après ce que nous avons dit plus haut son *punctum remotum* sera à 4 mètres de l'œil. A soixante-dix ans cet œil aura perdu toute son accommodation, à peu de chose près, il ne pourra donc voir plus près que 1 mètre. A ce moment, et déjà plus tôt d'ailleurs, il sera manifestement presbyte. Il lui faudra porter un verre divergent pour la vision éloignée et un verre convergent pour la vision rapprochée.

Procédés pour déterminer la position du *punctum proximum* et l'amplitude d'accommodation. — Pour déterminer la distance du *punctum proximum* à l'œil, il suffit de chercher la plus courte distance à laquelle le sujet peut voir nettement un



objet, par exemple des caractères d'écriture. Nous avons vu que chez l'emmetrope il est facile de déduire l'amplitude d'accommodation de la position de son *punctum proximum*.

On peut mesurer directement cette amplitude d'accommodation à l'aide de l'artifice suivant. Considérons un œil emmetrope et son *punctum proximum* *Pp*. Plaçons devant cet œil une lentille divergente dont le foyer sera en *F*. Si l'œil regarde à l'infini à travers cette lentille, les rayons venant d'un point éloigné, parallèlement entre eux, formeront après leur passage à travers la lentille un faisceau divergent semblant venir de *F* qui coïncide avec *Pp*. Pour former une image nette avec ces rayons, l'œil devra accommoder au maximum, comme

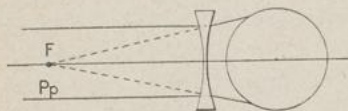


Fig. 361.

il le fait quand, sans lentille, il regarde en *Pp*. Il verra donc nettement à l'infini avec son maximum d'accommodation. Si *F* était plus éloigné que *Pp*, c'est-à-dire si l'on prenait une

lentille moins puissante, l'œil pourrait encore voir à l'infini, avec moins d'accommodation que son maximum. Si, au contraire, la lentille était plus puissante, le point *F* étant plus rapproché de l'œil que *Pp*, l'accommodation ne suffirait plus pour voir à l'infini. Donc pour mesurer l'amplitude d'accommodation d'un œil emmetrope il faut chercher la lentille divergente la plus puissante qui lui permette de voir à l'infini. La distance focale de cette lentille est égale à la distance du *punctum proximum* à l'œil, et sa puissance mesure l'amplitude d'accommodation.

Supposons maintenant que l'on ait affaire à un myope. Cherchons le verre divergent le plus puissant qui lui permette de voir nettement à l'infini, ce verre ne mesurera pas son amplitude d'accommodation; il faut, par la pensée, le diviser en deux verres, l'un correcteur de la myopie et l'autre mesurant l'amplitude d'accommodation. Ainsi si un myope de 3 dioptries voit encore à l'infini à travers un verre  $-8$ , ce verre  $-8$  devra être considéré comme se composant de deux verres  $-3$  et  $-5$ ,  $-3$  ramenant l'œil à l'emmetropie et  $-5$  comme mesurant l'accommodation. On aurait en effet pu d'abord donner au myope le verre  $-3$ , et après l'avoir ainsi corrigé, opérer sur lui comme sur un emmetrope, qui aurait alors vu à l'infini avec son maximum d'accommodation avec un verre supplémentaire  $-5$ .



Un hypermétrope, corrigé par un verre  $+2$ , par exemple, et voyant encore à l'infini à travers un verre  $-8$ , aurait 10 dioptries d'amplitude d'accommodation, car si on avait commencé à le ramener à l'emmétropie avec le verre  $+2$ , il aurait, avec ce verre, pu voir à l'infini à travers un verre supplémentaire  $-10$ , l'ensemble  $+2 - 10$  étant équivalent à  $-8$ .

### Astigmatisme.

Dans tout ce qui précède on a admis que les surfaces à travers lesquelles se réfractait la lumière étaient des portions de sphère ou des plans. Ainsi les lentilles, la cornée, les surfaces antérieure et postérieure du cristallin ont été supposées sphériques. Mais il peut n'en être pas toujours ainsi.

Considérons d'abord une lentille convergente, par exemple, du genre de celles que nous avons étudiées jusqu'à présent, c'est-à-dire limitées par des surfaces sphériques, et soit XY l'axe principal de cette lentille. Si nous coupons la lentille par un plan vertical passant par XY, nous aurons la figure 362. Les rayons lumineux venant de gauche à droite parallèlement à l'axe principal, après réfraction se coupent en un point F, foyer principal de la lentille, situé sur l'axe XY à une distance  $f$  de la lentille.

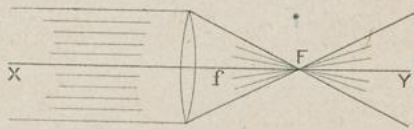


Fig. 362.

Au lieu de couper la lentille par un plan vertical passant par XY, supposons maintenant que nous la coupons par un plan horizontal passant toujours par XY. Nous aurons absolument la même figure que pour la section verticale, il n'y aura rien de changé. Tous les rayons parallèles à XY se trouvant dans ce plan horizontal et venant de gauche à droite, se couperont après réfraction au point F situé sur XY à la distance  $f$  de la lentille.



Fig. 363.

Il en sera de même pour une section oblique quelconque, on pourra faire tourner le plan de section autour de l'axe, toujours on retrouvera la même figure, c'est pourquoi l'on dit qu'elle est de révolution.



Considérons maintenant une lentille cylindrique; voici comment une pareille lentille peut se concevoir.

On prend un cylindre terminé par deux bases circulaires perpendiculaires à l'axe, et l'on en coupe une tranche par un plan parallèle à cet axe (fig. 363). On a une lentille cylindrique plan convexe, convergente.

Voyons comment va se comporter, par rapport à une pareille

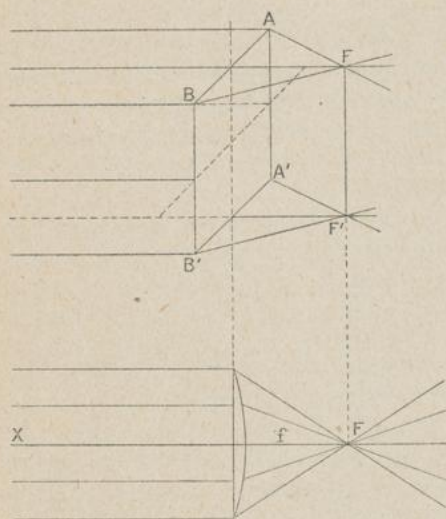


Fig. 364.

lentille, un faisceau de rayons parallèles entre eux et perpendiculaires à la face plane (fig. 364). Pour simplifier la figure je représenterai la lentille vue en perspective par ses bords seulement, c'est-à-dire par un rectangle (en perspective cela donne un parallélogramme  $ABA'B'$ ).

Prenons le plan supérieur limitant la lentille, comme si l'on regardait la lentille de haut en bas.

Tous les rayons lumineux qui se trouvent dans ce plan supérieur sont parallèles à l'axe de la figure, ils vont se réfracter en passant tous par un certain foyer  $F$  situé sur  $XF$  à une distance  $f$  de la lentille.

Faisons une autre coupe un peu plus bas, toujours par un plan horizontal, nous allons évidemment retrouver identiquement la même figure que dans le cas précédent et cela se produira pour tous les plans de section horizontaux compris entre les plans limitant la lentille supérieurement et inférieurement. Il y aura pour chaque section un foyer à une distance  $f$  de la lentille. Tous ces foyers seront sur une droite  $FF'$ , dite droite focale, parallèle aux génératrices de la lentille et distante de  $f$  de la lentille.

Il est facile, en se reportant à la figure, de se représenter la forme du faisceau réfracté. On en conclut qu'à travers une pareille



lentille l'image d'un point lumineux situé à l'infini n'est plus un point, mais une droite  $FF'$ . Pour un point lumineux rapproché il en sera de même, son image sera une droite. L'image ne rappellera plus en rien la forme de l'objet. De plus, à l'infini à droite, le faisceau réfracté formera une bande lumineuse horizontale.

Que va-t-il se passer maintenant si l'on réfracte un faisceau émané d'un point à travers deux lentilles superposées, l'une sphérique, l'autre cylindrique. Supposons, par exemple, que l'on superpose à la lentille cylindrique que nous venons d'étudier une lentille sphérique. Aurons-nous comme image une droite ou un point?

Supposons la lumière venant de gauche à droite et tombant sur un système  $ABCD$  composé d'une lentille sphérique convergente et d'une lentille cylindrique convergente à génératrices verticales.

L'expérience et la théorie montrent qu'en recevant le faisceau réfracté sur un écran,

comme on a l'habitude de le faire pour voir où se forment les images réelles, on trouve d'abord une droite lumineuse verticale  $FF$ ,

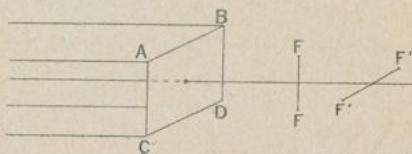


Fig. 365.

c'est la première droite focale. En continuant à éloigner l'écran de la lentille, on trouve une deuxième droite focale  $FF'$ , horizontale. Donc, dans ce cas, l'image d'un point sera une droite verticale, ou une droite horizontale, suivant la position de l'écran par rapport à la lentille, mais jamais un point. Le même effet est produit par une lentille unique si elle n'a pas la même puissance dans tous les méridiens. Supposons par exemple que l'on fasse une section d'une lentille par un plan vertical passant par l'axe. On trouvera, comme nous l'avons indiqué plus haut, un foyer à une distance  $f$ , correspondant à une certaine puissance du méridien vertical de la lentille. En faisant tourner maintenant le plan de section autour de l'axe, comme nous l'avons fait plus haut, si la figure ne change pas, la lentille est de révolution et nous connaissons ses effets. Si, au contraire, la courbure des méridiens change à mesure que le plan tourne, les rayons contenus dans ce plan ne se coupent plus, après réfraction, en un même point à la distance constante  $f'$  de la lentille : la lentille est dite astigmatique.

Dans le cas où deux sections *perpendiculaires entre elles* correspondent l'une à un minimum de courbure, l'autre à un



*maximum* avec passage graduel de l'un à l'autre pour les méridiens intermédiaires, on dit que la lentille a de l'astigmatisme régulier. L'image d'un point se compose alors de deux droites perpendiculaires entre elles, la plus rapprochée est parallèle au méridien de plus petite courbure, la plus éloignée parallèle au méridien de plus grande courbure.

Il en est de même pour un dioptré à courbures inégales, avec un *maximum* et un *minimum* de courbure dans deux méridiens perpendiculaires entre eux.

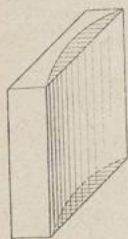


Fig. 366.

Une pareille lentille ou un dioptré à courbures inégales se comportent donc comme le système résultant de la superposition d'une lentille sphérique et d'une lentille cylindrique. Les mêmes résultats sont encore obtenus par un dioptré ordinaire sphérique, devant lequel on place une lentille cylindrique.

Par conséquent si l'on prend un système optique centré qui donne des images nettes des objets, c'est-à-dire à travers lequel l'image d'un point est un point, et que l'on place devant ce système une lentille cylindrique, on le transforme en système astigmaté régulier.

Inversement, si l'on a un système astigmaté régulier, pour lui enlever son astigmatisme et le transformer en un système donnant des images nettes des objets, dans lequel l'image d'un point est un point, il faut, par un procédé quelconque, annuler l'effet de la lentille cylindrique qui y entre.

Comment peut-on annuler l'effet d'une lentille cylindrique? Prenons une lame de verre à faces parallèles et découpons-y un volume qui, vu de face, soit un rectangle (fig. 366). Comme la figure l'indique en perspective on pourra enlever dans ce volume une lentille cylindrique convexe, c'est la partie ombrée de la figure. Il restera une lentille cylindrique concave ayant même direction de génératrices. L'ensemble de ces deux lentilles superposées donne une lame à faces parallèles, ne déviant pas les rayons lumineux. Nous pourrions désigner ces deux lentilles cylindriques par le nom de lentilles complémentaires. Elles ont la même puissance, mais l'une est divergente, l'autre convergente.

Cela dit, considérons un système astigmaté régulier que nous pourrions toujours considérer comme constitué par un système non astigmaté, plus une lentille cylindrique. Pour annuler l'effet



de cette lentille cylindrique il suffira de lui superposer la lentille complémentaire, les génératrices étant parallèles de façon que les deux lentilles cylindriques forment une lame à faces parallèles.

Nous avons, dans les explications précédentes, supposé que l'astigmatisme d'un système provenait de la présence dans ce système d'une lentille cylindrique convergente, pour détruire cet astigmatisme, il faut compenser cette lentille par la lentille complémentaire divergente.

On obtient évidemment aussi les effets d'astigmatisme en introduisant dans un système centré une lentille cylindrique divergente, et il faudra alors, pour faire disparaître l'astigmatisme, la compenser par une lentille cylindrique convergente complémentaire.

L'œil humain est souvent affecté d'astigmatisme; nous allons rechercher comment on reconnaît pratiquement cet astigmatisme et comment on trouve la lentille correctrice.

L'œil astigmatique regardant un point lumineux, il ne peut se former sur sa rétine une image punctiforme; l'image du point lumineux se compose de deux petites droites; quand une de ces petites droites se trouvera sur cette rétine, on aura la même impression que si l'objet regardé était une droite. Supposons que ce même œil regarde une étoile formée de lignes se coupant en un point (fig. 367); chaque point de la figure donnera comme image sur la rétine une petite droite, toutes ces petites droites seront parallèles entre elles. Supposons qu'elles soient horizontales, quelle sera la déformation de l'image rétinienne? Pour s'en rendre compte menons par chaque point de la figure

une petite droite horizontale dont le milieu soit en ce point. L'image rétinienne aura alors un aspect analogue à celui représenté sur la figure 368.

Il est à peine besoin de dire que l'objet (fig. 367) étant composé de droites continues, les

petites droites de la figure 368 seront au contact les unes des autres, c'est-à-dire qu'il y aura, en réalité, un élargissement des branches de l'étoile, et non pas des petites droites séparées les unes des autres, comme le représente la figure.

La branche horizontale de l'étoile sera la seule à rester nette et à donner une bonne image, toutes les autres branches sont d'autant



Fig. 367.

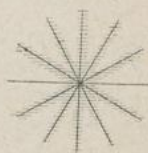


Fig. 368.



moins nettes que l'on s'éloigne plus de l'horizontale. Donc, si plaçant une personne vis-à-vis d'une étoile de la forme dite du cadran horaire, c'est-à-dire se composant de diamètres linéaires (fig. 369) d'une circonférence disposés sur une sorte de cadran d'horloge, afin de pouvoir facilement les désigner par l'heure à laquelle ils correspondent, cette personne accuse une vision meil-

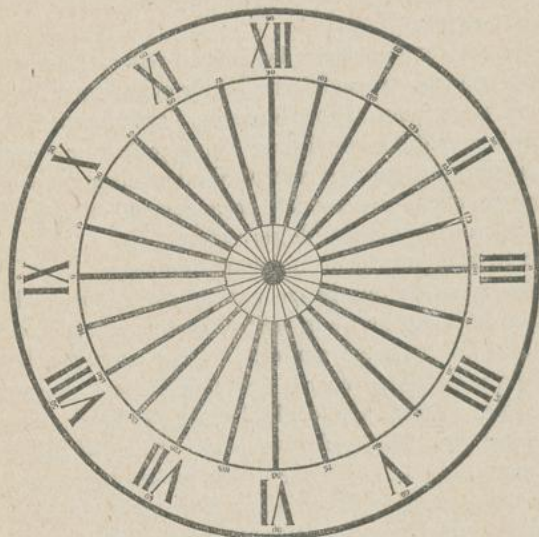


Fig. 369.

leure pour un certain diamètre que les autres, elle est astigmatique.

Pour corriger l'astigmatisme d'un œil il faut lui donner à porter une lentille cylindrique. L'expérience et la théorie nous montrent que pour avoir une bonne correction, cette lentille cylindrique doit être placée devant l'œil de façon que ses génératrices, ou, ce qui revient au même, que son axe soit orienté perpendiculairement à la ligne la mieux vue.

L'expérience que nous venons de décrire nous fait donc savoir non seulement que l'œil examiné est astigmatique, mais comment on devra orienter l'axe de la lentille correctrice.

La direction de cet axe est indiquée sur les lentilles du commerce. Une fois l'orientation du verre correcteur trouvée, il faut encore savoir si ce verre correcteur doit être convergent ou divergent et



quelle est sa valeur, ceci se trouve par tâtonnement. On commence par prendre un verre cylindrique divergent faible, on le place devant l'œil dans la bonne orientation, en demandant au sujet si sa vue est améliorée par cette opération. S'il vous répond affirmativement on prend des verres de plus en plus forts en recommençant le même essai jusqu'à ce que toutes les lignes du cadran horaire soient également bien vues ; à ce moment l'astigmatisme est corrigé.

Si au moment où l'on essaie les verres cylindriques divergents les plus faibles, le sujet dit que son astigmatisme augmente, on essaye les verres convergents en plaçant toujours l'axe perpendiculairement à la direction la mieux vue et prenant des verres de plus en forts jusqu'à correction.

Bien entendu, en dehors de l'astigmatisme, un œil peut être affecté de myopie ou d'hypermétropie qu'il faudra corriger à part, après suppression de l'astigmatisme.

Il y a maintenant lieu de se demander d'où provient l'astigmatisme de l'œil. L'expérience nous montre qu'il tient à une irrégularité de courbure de la cornée. Cette cornée est en général de révolution autour de l'axe visuel de l'œil, c'est-à-dire que son rayon de courbure est le même pour un méridien vertical, horizontal ou oblique. Mais il arrive que cette égalité ne subsiste plus et que les divers méridiens aient des rayons de courbure différents, l'un d'eux ayant une valeur maxima, et le méridien perpendiculaire un rayon de valeur minima. Dans ces conditions l'œil sera astigmatique régulier. Puisque le cristallin n'est lui-même affecté d'aucun astigmatisme, tout le défaut de l'œil proviendra de la cornée.

Partant de là on peut déterminer l'astigmatisme en étudiant les images qui se forment par réflexion sur la cornée.

Quand on regarde une image qui se forme par réflexion dans un miroir sphérique convexe, cette image est semblable à l'objet ; par exemple si l'objet est une circonférence en papier blanc l'image sera une circonférence. Cette image variera de grandeur suivant les diverses conditions de l'expérience, courbure du miroir, distance de l'objet, etc.

En particulier si la distance de l'objet au miroir est toujours la même, l'image sera d'autant plus grande que le rayon de courbure du miroir est plus grande.

Vient-on à répéter cette expérience avec un miroir à courbures inégales, on constate que l'image est déformée, un cercle devient une ellipse, le grand axe de l'ellipse étant parallèle au méridien



de plus grand rayon de courbure du miroir, le petit axe parallèle au méridien de plus petit rayon de courbure.

Nous avons là un moyen de reconnaître si une cornée est de révolution ou si elle fait partie d'un œil astigmaté.

Pour cela on se place vis-à-vis du sujet à examiner, en prenant à la main un rond en papier blanc éclairé soit par la lumière du jour soit par la lumière artificielle, on tient le rond à la hauteur de l'œil du sujet en regardant l'image qui se forme par réflexion.

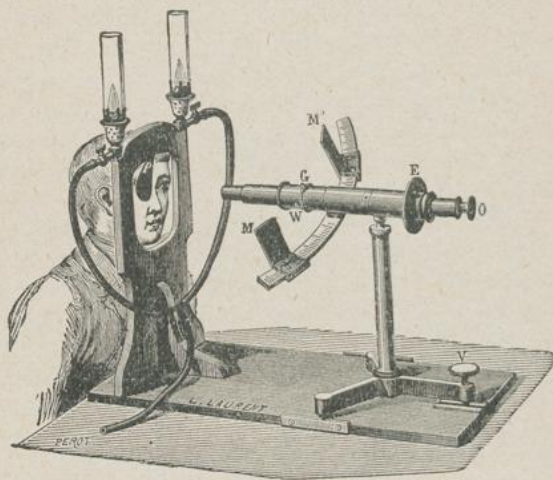


Fig. 370.

Si cette image est un cercle, l'œil examiné est dépourvu d'astigmatisme. Si au contraire, l'image est une ellipse, le grand axe et petit axe de cette ellipse donnent les directions de plus grand et de plus petit rayon de courbure de la cornée.

Il y aura une différence d'autant plus grande entre les deux axes de l'ellipse que l'astigmatisme sera plus accentué, et l'on peut concevoir qu'à l'aide d'appareils de mesure appropriés, on puisse examiner les images se produisant par réflexion sur la cornée et en déduire le verre correcteur.

Le principal de ces appareils, le meilleur comme précision et le plus pratique est l'ophthalmomètre de Javal.

Il se compose essentiellement d'une lunette (fig. 370) à l'aide de laquelle on observe les images qui se forment par réflexion sur la cornée du sujet, l'observateur regardant par l'oculaire O. Les



deux mires  $M$  et  $M'$  éclairées soit par la lumière du jour, soit par une lumière artificielle, forment leurs images sur la cornée. D'après ce que nous avons dit plus haut, si la cornée est de révolution, la droite qui joint les deux mires  $MM'$  doit avoir une image de grandeur constante, quand on fait tourner le bras qui porte  $MM'$  autour de l'axe de la lunette, c'est-à-dire quand la droite  $MM'$  passe de l'horizontale à la verticale. En effet nous avons vu que, dans ce cas, l'image d'un cercle est un cercle, c'est-à-dire qu'un diamètre  $MM'$ , du cercle, aura une image de longueur constante quand il passe par les diverses inclinaisons.

Si, au contraire, la cornée est astigmatique il y aura une position pour laquelle l'image d'une droite  $MM'$  passe par un maximum de longueur, tandis que pour une position perpendiculaire elle passe par un minimum. Cela revient à dire qu'en regardant à travers la lunette les images des deux mires  $M$  et  $M'$ , et faisant tourner le bras qui les porte autour de l'axe de la lunette, si l'œil n'est pas astigmatique la distance des deux images reste invariable. Si, au contraire, il est astigmatique, la distance des deux images varie, elle passe par un maximum pour un méridien et par un minimum pour le méridien perpendiculaire au premier.

Un dispositif spécial permet de mesurer la grandeur de ces variations et donne immédiatement par une simple lecture la valeur du verre correcteur.

## VI

## ACUITÉ VISUELLE

Quand on regarde deux points lumineux au voisinage l'un de l'autre, il arrive souvent que l'on ait deux impressions distinctes, c'est-à-dire que les deux points ne paraissent pas confondus en un seul; mais s'ils viennent à se rapprocher de plus en plus, à un moment donné ils semblent se fusionner en un seul. Cette fusion apparente se produit plus ou moins facilement, suivant la valeur de ce que l'on appelle l'acuité visuelle de l'œil observateur. Il est aisé de concevoir les causes de ce phénomène. La couche sensible de la rétine se compose d'éléments juxtaposés, si les images de deux points sont assez rapprochées pour se faire sur un même élément, il y a fusion des deux impressions. Pour que l'on ait la sensation de deux points séparés, il faut évidemment non seule-



ment que les images des deux points tombant sur deux éléments rétinienens différent, mais encore que ces éléments ne soient pas contigus, c'est-à-dire qu'il y ait entre eux au moins un élément non impressionné. Il en résulte que, pour un éloignement donné de l'œil, les deux points AB doivent avoir un écartement minimum audessous duquel il y a fusion des images. Naturellement cette fusion des images ne dépend que de la distance des images rétinienens  $a$ ,



Fig. 371.

$b$  obtenues en joignant A et B au centre optique de l'œil; cela revient à dire que, quel que soit l'éloignement de l'œil de AB, le phénomène ne dépend que de la valeur de l'angle  $\alpha$ .

Lorsque la fusion des images de A et B se produit pour une valeur de l'angle  $\alpha$  égale à  $1'$  on dit, par convention, que l'œil a l'unité d'acuité visuelle. Si la fusion se produit déjà pour un angle  $\alpha = 2'$  l'acuité visuelle est  $\frac{1}{2}$  et ainsi de suite.

Comment s'y prend-on pour mesurer pratiquement l'acuité visuelle. On pourrait, à la rigueur, prendre deux points lumineux et faire varier leur distance jusqu'à ce que l'observateur voie la fusion se produire. De la distance de ces points et de l'éloignement de l'observateur on pourrait déduire l'angle  $\alpha$ .

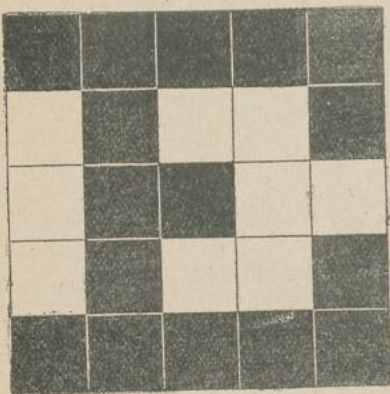


Fig. 372.

Mais l'expérience prouve que c'est là une mauvaise méthode pour les besoins de la pratique médicale. Il faut déjà être bon observateur pour saisir

le moment de la fusion des deux images, et en opérant sur une personne quelconque on a, d'un instant à l'autre, les renseignements les plus contradictoires.

Voici dès lors la méthode employée dans la pratique courante. Considérons un carré (fig. 372) divisé en 25 carrés, plus petits,



égaux entre eux. Nous pouvons, comme l'indique la figure, noircir un certain nombre de ces carrés de façon à former la lettre E.

Pour une dimension convenable du carré, et une distance déterminée du sujet au tableau sur lequel est dessinée la lettre, la hauteur de cette lettre apparaît sous un angle de 3'. L'intervalle qui sépare deux carrés noirs comprenant un carré blanc apparaît sensiblement sous un angle de 1', et le sujet se trouve dans les conditions où il doit pouvoir distinguer les unes des autres les lignes noires, s'il a une acuité visuelle égale à 1. Il pourra donc lire la lettre, mais il ne la lirait plus si elle diminuait de grandeur, ou s'il s'éloignait davantage du tableau.

On placera donc, les unes à côté des autres, une série de lettres analogues, et l'on demandera au sujet de les lire; s'il peut le faire, son acuité visuelle est au moins égale à 1. S'il ne le peut pas, on cherchera à lui faire lire des caractères plus gros. En forçant de plus en plus la dimension des lettres, on arrivera à une grandeur de lettres qu'il pourra lire à 5 m. Si les lettres correspondantes sont par exemple trois fois plus hautes que celles correspondant à l'acuité visuelle 1, on dira que son acuité visuelle est  $\frac{1}{3}$ .

Les lettres des différentes dimensions utiles dans la pratique, sont disposées sur un tableau nommé échelle optométrique. A côté de chaque dimension de lettres se trouve l'indication de l'acuité visuelle correspondante, pour la lecture à 5 m.

Le modèle de tableau le plus répandu est celui de Snellen, où les dimensions successives des lettres sont telles que les acuités visuelles correspondantes sont mesurées par 1,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{6}$ ,  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{10}$ . C'est à lui que se rapportent généralement les indications données dans les observations ou les règlements.

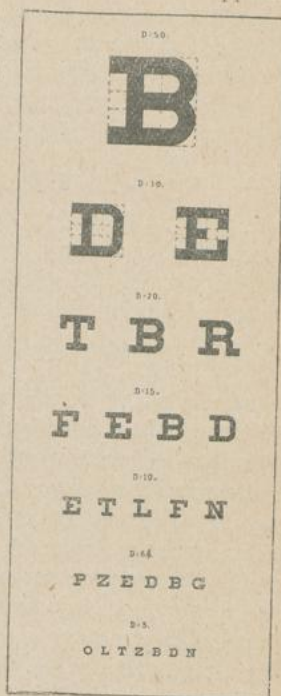


Fig. 373.



M. Monmoyer a proposé une autre échelle où les acuités visuelles varient suivant une loi décimale : 4; 0,9; 0,8; etc., mais elle n'est pas aussi répandue que celle de Snellen.

Quand le sujet soumis à l'examen lit à 5 m. le caractère le plus fin de l'échelle, il a une acuité visuelle égale à l'unité ou supérieure. On lui dit alors de s'éloigner de l'échelle et de se placer à la limite à laquelle il peut encore lire les caractères en question. Il est évident que plus il peut ainsi s'écarter du tableau, meilleure est son acuité visuelle. S'il peut par exemple aller jusqu'à 10 m., ce qui est extrêmement rare, il a une acuité double de celle du sujet qui ne lit qu'à 5 m., c'est-à-dire qu'il a 2. S'il peut aller à 6 m., il a  $\frac{6}{5}$ ; d'une façon générale, on divise par 5 la distance la plus grande à laquelle il lit encore. On pourrait à la rigueur se servir d'une seule ligne de caractères pour déterminer toutes les acuités visuelles. Un sujet ne les lisant pas à 5 m., on lui dirait de se rapprocher du tableau; s'il devait venir jusqu'à 2,5 son acuité serait  $\frac{1}{2}$ , s'il devait aller à 4 m., elle serait  $\frac{1}{3}$ , c'est-à-dire que, comme pour les acuités supérieures à l'unité, on diviserait la distance limite à laquelle la lecture peut se faire par 5 pour avoir la valeur de l'acuité visuelle.

Ce procédé a un grand inconvénient, pour des distances rapprochées l'accommodation entre en jeu et la grandeur des images rétinienne varie de ce chef. Il faut, pour faire les mesures, éliminer l'accommodation, c'est-à-dire se tenir toujours à une distance assez grande du tableau de lettres, et c'est ce qui nécessite la série de caractères de dimensions croissantes à partir de ceux lus à 5 m. avec l'acuité visuelle égale à l'unité.

On a pris comme base la distance de 5 m., et choisi une dimension de caractères convenable pour donner à cette distance l'acuité unité, mais on aurait pu tout aussi bien prendre une autre distance, 4, 6, 8 m., etc., en faisant choix d'une autre dimension de caractères pour donner l'unité d'acuité à chacune de ces distances. Ce sont des considérations d'ordre pratique qui ont fait faire ce choix, on ne peut exiger un trop grand éloignement du tableau de lettres, car la grandeur des appartements ne s'y prêterait pas, de plus la distance de 5 m. est suffisante car, dans ces conditions, la vision se fait sans accommodation appréciable.

Il y a encore une remarque importante à faire. La mesure de



l'acuité visuelle ayant pour but de renseigner sur l'état de la rétine, il ne faut pas que dans cette détermination les résultats soient faussés par une anomalie de réfraction.

Un sujet pourrait avoir une acuité excellente du fait de sa rétine, mais étant simplement myope il ne lirait pas les caractères fins du tableau, et l'on serait induit en erreur. Même étant prévenu de sa myopie on ne saurait quelle est la part à attribuer à la myopie et à la sensibilité de la rétine dans le défaut d'acuité visuelle.

Il faut donc toujours, dans les mesures d'acuité visuelle, commencer par corriger les anomalies de réfraction avant de procéder à cette mesure.

## VII

## CHAMP VISUEL

Quand, à l'aide d'un seul œil, nous fixons un objet, nous ne voyons pas un point unique. Si l'œil ne se déplace pas, qu'il reste absolument immobile, il y a une petite région où nous percevons les détails avec une précision particulière; mais nous voyons en même temps, avec plus ou moins de netteté, tout ce qui se trouve aux environs de cette région. Par exemple, déployons un journal; il est facile de se rendre compte, en s'éloignant d'environ un mètre, qu'un petit nombre de caractères seulement peuvent être lus simultanément sans déplacer l'œil. Toutefois tout le journal et même les objets des environs sont perçus plus ou moins vaguement, d'autant moins bien qu'ils sont plus écartés latéralement du point de fixation. On dit que tous les objets ainsi perçus sont dans le champ visuel. Le champ visuel, pour une position déterminée de l'œil, est donc la région de l'espace dans laquelle doit se trouver un point pour être perçu, l'œil restant immobile.

L'étude du champ visuel est extrêmement importante, car elle nous renseigne sur l'état de la rétine. Il y a en effet un champ visuel normal sensiblement le même pour tous les individus. Si sur un sujet on constate que dans ce champ normal il y a des lacunes, des régions où la vision n'existe pas, il faut en conclure qu'il y a des points correspondants de la rétine qui sont altérés. Il arrive par exemple, pour fixer les idées, qu'en regardant devant soi, toute la région supérieure de l'espace semble obscure, on peut



en conclure à une lésion étendue de toute la partie inférieure de la rétine, en général à un décollement.

Comment détermine-t-on le champ visuel? Il y a deux procédés généraux, celui du campimètre et celui du périmètre.

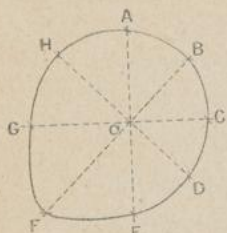


Fig. 374.

Le campimètre est un simple tableau vertical marqué en un point *o* d'un repère (fig. 374), d'une croix par exemple. On place le sujet vis-à-vis de ce tableau, l'œil à examiner étant sur la perpendiculaire au tableau en *o*, et on lui dit de fixer le point *o*. Puis on promène sur le tableau un objet, par exemple, un morceau de craie si le tableau est noir, on l'approche de plus en plus de *o*, de haut en bas, jusqu'à ce que le sujet déclare le voir. On marque ainsi un point A, limite supérieure du champ. On répète la même opération pour un certain nombre de directions, en général huit, puis on joint tous les points ABCD, etc. : la ligne obtenue limite le champ visuel sur le tableau. Il est évident que cette ligne ABCD, etc., dépend de la distance à laquelle l'œil se trouve du tableau, il faut donc adopter une fois pour toute une position bien déterminée où le sujet devra mettre l'œil. Cette position est assez voisine du tableau, sous peine d'avoir un champ immense que l'on ne pourrait représenter que sur un plan d'étendue énorme;

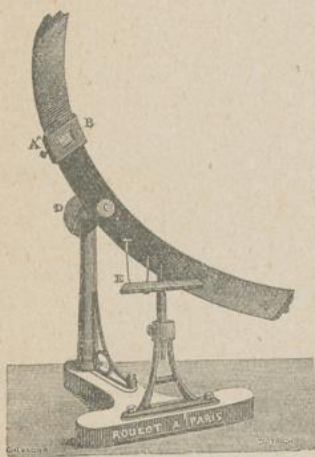


Fig. 375.

il en résulte que la moindre erreur sur la position de l'œil entraîne des écarts considérables dans la mesure du champ, aussi cet instrument est-il d'un maniement délicat quand on recherche une certaine précision. De plus il présente un autre inconvénient, le champ normal est fort étendu dans certaines directions; ainsi en dehors, à droite pour l'œil droit, à gauche pour l'œil gauche, il atteint 90° de la ligne de visée, et le point correspondant, C ou G ne peuvent se représenter sur le campimètre. Cet instrument



n'est vraiment applicable que dans les cas où le champ visuel est rétréci.

Le périmètre est bien plus répandu et plus pratique que le campimètre. Il se compose essentiellement d'une bande demi-circulaire montée sur un pied par son milieu (fig. 375), de façon à pouvoir tourner autour d'un diamètre correspondant à ce milieu C,

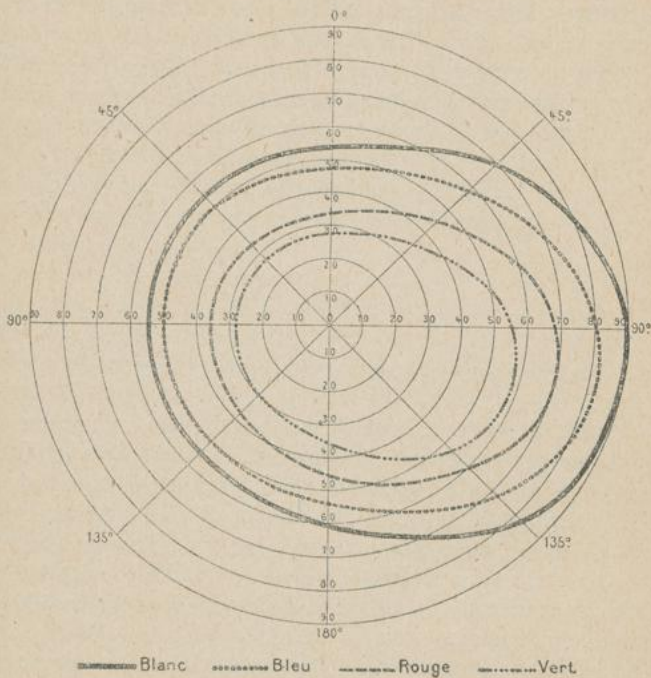


Fig. 376.

comme l'indique la figure. Le sujet appuie son menton sur un support E de façon que son œil soit au centre de la bande demi-circulaire, et il fixe le repère C. On place l'arc dans un plan horizontal, et on amène peu à peu le coulisseau AB du bord de l'arc vers le milieu C. Le coulisseau noirci comme tout l'arc porte un petit morceau de papier blanc ou coloré de façon à bien se détacher sur le fond sombre. Au moment où le sujet dit qu'il aperçoit le petit papier, on lit la division correspondante de l'arc. On reporte la valeur lue, représentant un certain nombre de

degrés, sur un diagramme où des cercles concentriques limitent l'écart des divers angles avec la ligne de visée tombant au point *o*. On a ainsi un point A, et répétant la même opération pour diverses directions en faisant tourner le cercle du périmètre autour de son axe, on relève autant de points qu'on le désire.

En les joignant par une ligne continue, on a une représentation du champ visuel. Par cette méthode on détermine directement l'angle limite du champ dans les diverses directions.

Le champ visuel relevé ainsi diffère suivant la couleur du petit papier employé pour l'exploration, la figure 376 donne ce champ visuel normal pour les couleurs auxquelles on a recours dans la pratique. Dans certains cas pathologiques, l'ordre des champs visuels pour les diverses couleurs pourra être altéré, ou bien, comme il a été dit plus haut, la forme du champ pourra être modifiée.

## VIII

## PROPRIÉTÉS DE LA RÉTINE

C'est l'arrivée de la lumière sur la rétine qui, normalement, donne lieu aux impressions lumineuses. On trouve dans les livres d'anatomie que cette rétine est composée de plusieurs couches; c'est la dernière d'entre elles, c'est-à-dire la plus postérieure par rapport à la direction d'arrivée de la lumière, dite membrane de Jacob ou couche des cônes et des bâtonnets, qui est seule directement excitable par la lumière. Voici l'expérience sur laquelle est fondée cette opinion.

En avant de la couche des cônes et des bâtonnets se trouvent des vaisseaux sanguins, ces vaisseaux portent ombre sur ce qui se trouve en arrière d'eux; cette ombre portée sur la membrane de Jacob considérée comme la couche sensible, devrait être perçue, or il n'en est rien. Mais il est facile de montrer que cela tient à diverses causes, en particulier à ce que par habitude on fait abstraction de l'impression produite par ces ombres fixes. Il suffit, au lieu de laisser ces ombres immobiles, de les déplacer sur la couche des cônes pour qu'aussitôt elles soient vues. Voici comment on opère pour cela. Plaçons devant l'œil une carte percée d'un trou O et regardons un ciel clair à travers ce trou. Admettons que A soit un vaisseau. La lumière, pénétrant par O, entre dans la



pupille comme il est indiqué sur la figure en traits pleins, et l'ombre de A se projette en *a* sur la couche des cônes. Abaissons la carte, l'orifice O viendra en O', il en résultera dans l'œil un faisceau représenté en traits discontinus et l'ombre de A viendra en *a'*. L'ombre du vaisseau s'est donc déplacée sur la couche des cônes; chaque fois que nous déplacerons la carte percée, il en résultera un déplacement de l'ombre *a* qui se portera sur des éléments rétinien

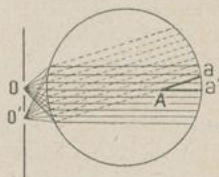


Fig. 377.

et pendant un court instant on verra cette ombre. Puis il faudra de nouveau la déplacer si l'on ne veut pas la perdre. Si l'on anime le carton d'un léger mouvement de va-et-vient d'une fréquence d'environ deux mouvements par seconde, et que l'on regarde à travers le trou un ciel clair, on voit ainsi une magnifique arborisation formée par l'ombre des vaisseaux qui se déplace sur la rétine. Cette expérience, connue sous le nom d'arbre vasculaire de Purkinje, montre que la couche des cônes située derrière ces vaisseaux est sensible.

Remarquons qu'il ne peut y avoir plusieurs couches jouissant de cette propriété, car l'image des objets extérieurs ne peut se faire simultanément avec netteté sur ces diverses couches; s'il y en avait plusieurs de sensibles il en résulterait un trouble des images, ce qui n'est pas.

On peut aussi, par une expérience très remarquable, montrer directement que les fibres du nerf optique ne sont pas en elles-mêmes excitables par la lumière. Quand on regarde la rétine de face, on voit en un point situé au voisinage du pôle postérieur de l'œil, un peu en dedans, une tache circulaire blanc rosé. C'est la papille, ou point d'entrée du nerf optique dans l'œil. Ce point de la rétine est aveugle comme l'a montré Mariotte, d'où le nom de tache de Mariotte ou *punctum cæcum*.

Voici comment se fait cette démonstration, pour l'œil droit par exemple. Marquons sur un papier un repère A. A une distance AB vers la droite, égale à l'écartement des yeux à peu près, faisons une tache B d'un demi-centimètre de diamètre environ. Puis fermant l'œil gauche, regardons fixement A en nous écartant d'environ vingt à vingt-cinq centimètres du papier, nous voyons disparaître la tache B; son image tombe sur une région aveugle

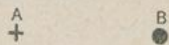


Fig. 378.



de la rétine. En étudiant la question de près, au moyen de mesures et de constructions, on voit que cette région aveugle correspond à la papille.

Il y a au contraire un endroit de la rétine qui correspond à un maximum de sensibilité, c'est approximativement le pôle postérieur de l'œil. La rétine y subit une petite dépression connue sous le nom de fosse centrale; cette fosse centrale est au milieu de la *tache jaune* ou *macula lutea*. C'est là que la vision des détails est la plus parfaite et c'est sur cette fosse centrale que l'on amène l'image des objets quand on veut en saisir les plus fins détails. Comme cette région est assez limitée, on conçoit pourquoi il ne lui correspond dans le champ visuel qu'une très petite étendue où l'on puisse réellement bien voir les détails des objets.

La fosse centrale qui donne lieu à la plus grande acuité visuelle perd ses avantages dans la perception des couleurs. Il a été démontré qu'il y a intérêt pour apprécier les colorations à se servir des bords de la tache jaune, c'est-à-dire à ne pas regarder directement l'objet, mais à diriger son regard un peu de côté. En particulier le bleu ne pourrait, d'après certains auteurs, être perçu que de cette façon.

Lorsque la lumière tombe sur la rétine elle n'est pas immédiatement perçue. Il y a comme pour tous les phénomènes physiologiques une période latente, autrement dit un certain intervalle de temps entre le moment de l'excitation et le moment de l'entrée en activité de l'organe excité.

D'autre part une fois la rétine excitée, la sensation lumineuse ne disparaît pas instantanément après la cessation de l'excitation. Supposons que l'on vienne à éteindre un point lumineux, pendant un certain temps, que l'on peut évaluer à  $1/10$  de seconde environ, la personne qui fixait ce point lumineux croit le voir encore. C'est ce que l'on nomme la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, propriété qui a reçu de nombreuses applications pratiques. Si une personne regarde un objet, on peut périodiquement éteindre la lumière qui éclaire cet objet pendant une durée qui ne devra pas dépasser  $1/10$  de seconde, et la personne continue à voir l'objet comme s'il était éclairé d'une façon constante. Voici une application de cette expérience. Si l'on présente un objet à l'œil et qu'on le fasse apparaître périodiquement, par un procédé quelconque, il suffira que la durée des disparitions soit assez courte pour que l'observateur croie voir l'objet fixe en place. Si mainte-



nant, au lieu de présenter toujours le même objet, on présente une série d'objets de forme graduellement variable, l'observateur croira voir un objet fixe se déformer sous les yeux. C'est le principe du cinématographe où l'on fait passer rapidement devant les yeux une série de photographies successives d'une vue, prises à court intervalle. Le cinématographe n'est d'ailleurs lui-même qu'un perfectionnement d'un jouet très répandu nommé zootrope, consistant en une série d'images figurant les divers temps d'un mouvement et que l'on fait défiler devant l'œil dans un cylindre tournant autour de son axe. Ce jouet est trop connu pour avoir besoin d'être décrit ici.

Il y a lieu de se demander par quel mécanisme les terminaisons nerveuses dans la rétine sont excitées par la lumière incidente. Cette excitation ne semble pas se faire directement, mais par l'intermédiaire des transformations que subissent certains pigments entourant les éléments rétinien. Parmi ces pigments il y en a un nommé pourpre rétinien qui a été l'objet de nombreuses études, sur les fonctions duquel l'entente n'est pas encore faite, mais qui joue certainement un rôle considérable dans la vision.

Si l'on vient à sacrifier un animal conservé à l'obscurité et qu'après lui avoir extirpé l'œil on enlève sa rétine en n'opérant que dans la pénombre ou à une lumière rouge, on constate que cette rétine présente un aspect rouge pourpre qui, à la clarté du jour, vire d'abord au jaune puis se décolore complètement. Dans l'obscurité la couleur pourpre se régénère.

On peut fixer cette matière rouge de façon à la rendre inaltérable à la lumière, en plongeant la rétine dans une solution d'alun. Kühne a pu obtenir ainsi des optogrammes, c'est-à-dire de véritables photographies rétinien. Il suffit pour cela de prendre l'œil d'un animal conservé à l'obscurité, et de l'exposer un certain temps dans une chambre noire vis-à-vis d'une fenêtre. On ouvre ensuite aussi rapidement que possible l'œil dans la solution d'alun, et l'on constate sur la rétine la présence d'un optogramme de la fenêtre avec ses barreaux.

Le pourpre rétinien se dissout dans une solution de sels biliaires, et à cet état il conserve la propriété de se décolorer à la lumière et de se régénérer dans l'obscurité.

Ce pourpre rétinien ne se trouve que sur les bâtonnets, il est absent dans la fosse centrale, qui ne contient que des cônes. En rapprochant ce fait de ce que nous avons dit à propos de la vision



des couleurs, on comprendra pourquoi certains auteurs ont attribué au pourpre rétinien un rôle considérable dans cette vision de certaines couleurs, en particulier du bleu.

## IX

## VISION BINOCULAIRE

La vision binoculaire a pour effet de donner lieu à la sensation de relief, c'est grâce à elle que l'observateur se trouvant en face d'un paysage a la notion des divers plans de ce paysage, ou encore que regardant un corps à trois dimensions il se rend compte de la valeur de chacune de ces dimensions. Considérons un corps de

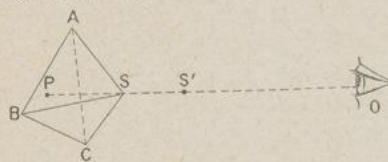


Fig. 379.

forme géométrique simple, un tétraèdre par exemple, que nous représentons en perspective sur la figure 379. La base ABC sera supposée appliquée contre un plan vertical, par exemple

un mur devant lequel se tiendra l'observateur. Le sommet sera en S, sur la perpendiculaire OP abaissée du point O, où se trouve l'œil, sur le mur. Chacun des points A, B, C, S formera son image sur la rétine. — Supposons maintenant que le point S se déplace et vienne en S', la forme du tétraèdre changera, mais l'image des quatre sommets du tétraèdre sur la rétine n'aura subi aucune modification. A, B, C ne se sont pas déplacés, il en est évidemment de même de leurs images rétinienne. S s'est déplacée sur la droite qui le joint à l'œil et il suffit de se reporter à la formation des images dans l'œil pour comprendre que l'image rétinienne est restée la même. Donc l'observateur doit éprouver la même impression en regardant ABCS et en regardant ABCS'; nous pouvons même dire que cette impression ne changera pas, quelle que soit la position de S sur la droite OP, que S soit en P, ce qui donne une figure plane, qu'il soit en avant du mur, ce qui donne une pyramide ayant plus ou moins de relief, ou qu'il soit en arrière du mur, ce qui donne une pyramide en creux. Avec la vision monoculaire, on ne comprend donc pas que l'on puisse éprouver la sensation du relief des objets.



Il y a toutefois une restriction à faire. Si le point S se trouve très en avant ou très en arrière du plan ABC, l'œil ne pourra accommoder à la fois sur S et sur ABC, les variations d'accommodation seront accompagnées du sentiment de rapprochement ou d'éloignement. De plus, par suite de l'éducation, de la connaissance de la plupart des objets qui nous entourent, il nous suffit de les voir monoculairement pour les mettre en relief. Ces deux actions, éducation et accommodation, nous permettent donc dans une certaine mesure de saisir le relief des objets, mais grâce à la vision binoculaire cet effet sera porté à un bien plus grand degré de perfection.

Il est facile de voir que lorsque nous regardons un objet dont tous les points ne sont pas dans le même plan, les images de cet

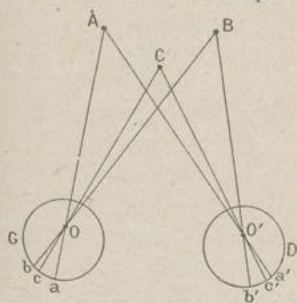


Fig. 380.

objet sur les deux rétines ne sont pas identiques. Supposons en effet un objet constitué simplement par trois points A, B, C, le point C étant en avant des deux autres. L'œil gauche est en G, l'œil droit

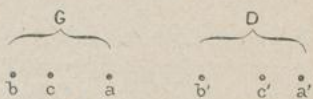


Fig. 381.

en D. Pour avoir les deux images rétinienne il suffit de joindre A, B, C aux centres optiques O et O' des deux yeux et de prolonger les droites aussi obtenues jusqu'aux rétines; on aura dans l'œil gauche les images  $a, b, c$  et dans l'œil droit les images  $a', b', c'$ . On voit immédiatement que les deux ensembles  $abc$  et  $a'b'c'$  ne sont pas identiques; dans celui de gauche le point  $c$  est plus près de  $b$  que de  $a$ , dans celui de droite le point  $c'$  est plus loin de  $b'$  que de  $a'$ . Si on représente ces deux images de face on a la figure 381.

C'est grâce à cette différence entre les deux images rétinienne que l'on éprouve la sensation du relief de C en avant de AB.

En effet si à l'aide d'un artifice on produit sur les deux rétines deux images identiques, on a toujours l'impression d'une figure plane. Si, au contraire, on produit deux images différentes, convenables, on a une sensation de relief.



Ce résultat est obtenu au moyen du stéréoscope. Dans cet instrument on regarde à l'aide des deux yeux à travers deux orifices O et O', O pour l'œil gauche, O' pour l'œil droit (fig. 382). En E et E' se trouvent deux dessins, et grâce au diaphragme opaque DD' l'œil gauche ne peut apercevoir que E, l'œil droit que E'.

Dans ces conditions plaçons en E et en E' deux figures identiques, par exemple trois points équidistants A B C à gauche, A' B' C' à droite (fig. 383, I). Nous n'aurons aucune sensation de relief, il nous semblera voir trois points en ligne droite également

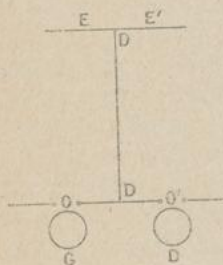


Fig. 382.

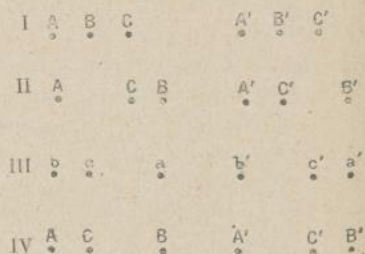


Fig. 383.

éloignés des yeux, tous trois dans le plan EE'. Cela tient à ce que les images dans l'œil G et dans l'œil D sont identiques. Mais plaçons en E le dessin A C B de la figure et en E' le dessin A' C' B' (fig. 372, II), il se formera sur les deux rétines des images renversées telles que *bca* et *b'c'a'* (fig. 383, III), non identiques, et nous aurons par ce fait seul, quoique les objets que nous regardons soient réellement placés tous deux dans le plan E, E', une sensation de relief. Il nous semblera que C est en avant du plan EE'. Si on avait regardé deux dessins tels que A C B, A' C' B' de la figure 383, IV, il aurait semblé que C est en arrière du plan EE' passant par AB.

Cette expérience peut être variée de bien des façons; elle s'est beaucoup répandue depuis les progrès de la photographie. Il suffit de placer dans un stéréoscope en E et E' deux photographies prises de deux points différents, ayant un certain écartement horizontal, pour avoir une sensation de relief d'autant plus prononcée que cet écartement est plus grand. Si l'on plaçait de chaque côté la même photographie, la sensation de relief ne serait que médiocre et résulterait uniquement de notre éducation et de la connaissance de l'objet vu.

Pour que la vue stéréoscopique soit réalisée dans de bonnes



conditions, il faut qu'il y ait fusion des deux impressions résultant des deux images. Supposons qu'on ne place dans le stéréoscope en E et E' qu'un seul point de chaque côté, il arrive très souvent en regardant à travers les orifices O et O' que l'on ait l'impression de deux points lumineux, il y a, comme on dit, diplopie. Cela tient à ce que des images ne se forment pas sur des points concordants des deux rétines. En effet, si nous regardons un point A (fig. 384), nous le voyons en général simple, les points *a* et *a'* où se forment les deux images de A sont dits concordants. Le point B voisin et situé à la même distance des deux yeux formera ses images en *b* et *b'*. Ce point B est aussi vu simple, *b* et *b'* sont donc encore des points concordants des deux rétines.

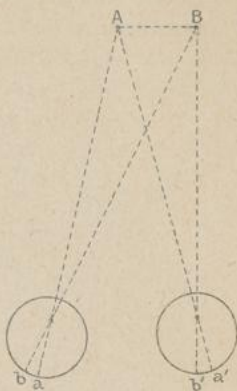


Fig. 384.

On conçoit fort bien que lorsqu'on regarde binoculairement un point déterminé, les deux yeux doivent avoir une convergence convenable, pour que les images sur les deux rétines se trouvent sur des points concordants. Quand regardant dans un stéréoscope tel que celui de la figure 382 on veut obtenir l'impression d'un seul objet, il faut amener les images dans les deux yeux sur des points concordants des deux rétines, et pour cela il est indispensable de donner aux deux yeux une convergence appropriée. Ceci ne se réalise pas toujours facilement, et alors on voit double.

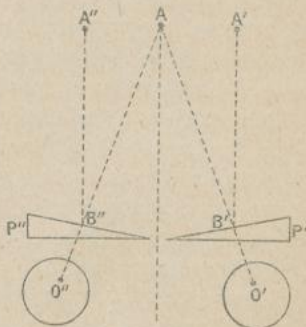


Fig. 385.

On remédie à cette diplopie en plaçant devant les ouvertures du stéréoscope deux prismes convenablement orientés, et destinés à modifier la direction dans laquelle les rayons lumineux arriveront à l'œil. Supposons par exemple que les deux yeux O' et O'' regardent les deux points A' et A'' (fig. 385), l'expérience prouve qu'en général, si l'observation est directe, on les voit doubles. Cela tient à ce que l'on accomode à la dis-



tance où se trouvent les points A' et A''; simultanément liée à cette accommodation, se produit une convergence des axes des deux yeux, de façon que les directions de ces axes se coupent en un point A. Si les deux yeux regardaient directement A, on le verrait simple. Or, plaçons devant les yeux les deux prismes

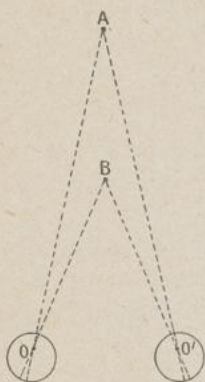


Fig. 386.

axes des deux yeux doivent converger vers A; si on fixe B, ils doivent converger vers B; il en résulte que si la convergence est convenable pour A, elle ne l'est pas pour B et inversement. Autrement dit, si l'on regarde deux objets inégalement éloignés de l'œil, l'un étant vu simple, l'autre est vu double.

Cette expérience est facile à réaliser. Plaçons-nous vis-à-vis d'une fenêtre et près d'elle. Fixons avec les deux yeux un barreau vertical, nous constaterons qu'un objet placé au loin, par exemple une cheminée se détachant bien sur le ciel, nous paraîtra dédoublé; si, au contraire, nous regardons la cheminée, le barreau de fenêtre sera vu double.

Il arrive parfois que la convergence des deux yeux ne soit pas bien réglée; il y a, lorsque l'on fixe un point, excès ou défaut de convergence. Cela peut provenir d'une paralysie frappant les muscles des yeux ou d'une cause autre. Quoi qu'il en soit, dans ce cas, on voit doubles les objets que l'on veut fixer; ce défaut est connu sous le nom de strabisme. Le strabisme peut donc être convergent ou divergent.

Supposons d'abord le strabisme convergent, l'œil gauche, par exemple, sera bien orienté, son axe optique sera dirigé vers le

P', P'', les arêtes en dedans. On sait qu'un rayon quelconque traversant un prisme est dévié vers la base, donc si l'angle du prisme est convenablement choisi, le rayon A'B' deviendra après passage à travers le prisme, B'O', tout se passera comme si ce rayon venait de A. Il en sera de même de A''B''O'' qui semblera aussi venir de A. La lumière arrive donc aux deux yeux de A' et A'' comme si elle partait réellement de A, on voit un point unique en A.

La convergence des axes des deux yeux doit varier avec la distance à laquelle se trouvent les objets que l'on regarde. Si par exemple on fixe le point A (fig. 386), les



point A que l'on regarde (fig. 387). Mais pour l'œil droit, l'axe  $O'X$  ne passe pas par A. L'image de A se fait, non en  $x$ , où elle devrait se trouver si l'œil était bien orienté; mais en  $a'$ . Tout se passe comme si, l'œil étant bien orienté, il y avait un point lumineux en  $A'$ . En réalité l'observateur croit voir un point en  $A'$  par son œil droit, un point en A par son œil gauche. On dit qu'il y a diplopie homonyme, c'est-à-dire que chaque image est du côté de

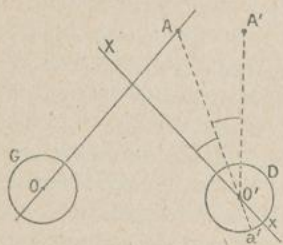


Fig. 387.

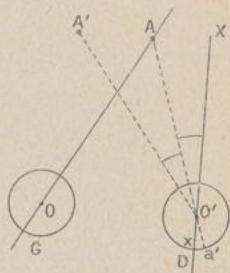


Fig. 388.

l'œil correspondant. Si l'on ferme l'œil droit, on voit disparaître l'image droite, et inversement.

Supposons maintenant le strabisme divergent, l'œil gauche est bien orienté, mais l'axe optique  $O'X$  de l'œil droit ne converge pas assez (fig. 388).

L'image de A, au lieu de se faire en  $x$  où elle devrait se trouver, se fait en  $a'$ . Tout se passe comme si, l'œil étant bien orienté, il y avait un point lumineux en  $A'$ . La diplopie est maintenant dite croisée. Si l'on ferme l'œil droit, on voit disparaître l'image de gauche et inversement.

Dans certains cas, lorsque la diplopie n'est pas trop accusée, on peut la faire disparaître par l'emploi de prismes convenables. Les rayons traversant un prisme étant déviés vers la base, il est évident que pour ramener le rayon  $AO'$  (fig. 387) dans la direction  $O'X$ , il faut placer devant l'œil  $O'$  un prisme à base externe. Dans le cas de la figure 388 il faut au contraire employer un prisme à base interne.

**Diploscope de Rémy.** — Le diploscope de Rémy permet de reconnaître facilement le moindre défaut ou excès de convergence des yeux. Voici le principe de cet instrument, dont il y a divers modèles.

Le sujet regarde à travers deux orifices correspondant aux deux yeux G et D, et cherche à lire un mot de 4 lettres, KOLA par exemple, sur l'écran EE. Un deuxième écran muni d'orifices convenablement placés comme

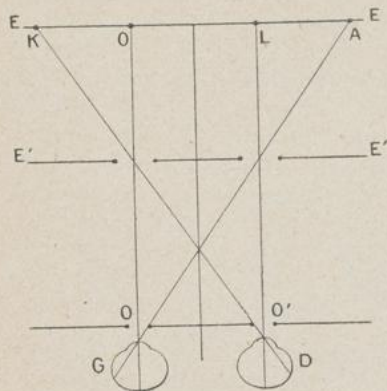


Fig. 389.

les lettres vues par l'œil semblent déplacées vers l'extérieur. Autrement dit le groupe des voyelles OA se déplace à gauche par rapport au groupe des consonnes, plus ou moins, donnant des apparences telles que KOLA, KO LA, OKAL.

Si au contraire il y a insuffisance de divergence le sujet verra le groupe OA se déplacer vers la droite par rapport aux consonnes et il lira KOLA, KOLA, KLOA, ou quelque chose d'analogue. En plaçant devant les yeux des prismes d'angle approprié et convenablement orientés on rétablit la vision normale.

## X

## OPTOMÈTRES

Les optomètres sont des instruments destinés à déterminer rapidement le degré d'amétropie d'un œil, par une simple lecture sur une division.

Les deux seuls modèles que l'on rencontre dans la pratique sont celui de Perrin et Mascart et celui de Badal.

L'optomètre de Perrin et Mascart (fig. 390 et 391) se compose essentiellement d'un tube de laiton portant à une extrémité, du

venablement placés comme l'indique la figure, ne permet à l'œil gauche que de voir les voyelles O et A, les consonnes K, L étant masquées pour lui. L'inverse a lieu pour l'œil droit. Malgré cela, si les yeux ont leur convergence normale, le sujet lit le mot KOLA, les lettres se trouvant régulièrement disposées; mais s'il y a excès de convergence par exemple, on sait (fig. 389) qu'il y a de la diplopie homonyme,

côté  
bout  
focal  
qu'il  
telle  
se tr  
verg  
pouv  
l'une  
tube  
Qu  
de l'  
Le fo  
l'œil  
l'écran  
gents  
mètre  
carac  
Qu  
est à  
conve  
forme  
les ra  
après  
l'instr  
arriva  
A m  
gente  
longue  
jusqu'  
les ra  
conve  
nent d  
gents,  
chant  
nettem  
une sin  
a diver  
accom  
de lec



côté oculaire, une lentille convergente de 12 dioptries. A l'autre bout, à une distance de cette lentille égale à deux fois sa distance focale, se trouve un petit écran portant des caractères et des signes qu'il s'agit de distinguer. Dans l'intervalle compris entre la lentille convergente et l'écran, se trouve une lentille divergente de 24 dioptries pouvant se déplacer de l'une des extrémités du tube à l'autre.

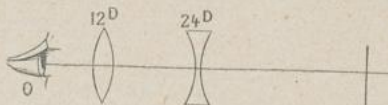


Fig. 390.

Quand la lentille divergente est à droite, contre l'écran, l'image de l'écran à travers cette lentille coïncide sensiblement avec l'objet. Le foyer de la lentille convergente se trouvant au milieu du tube, l'œil O regardant l'image de l'écran reçoit des rayons convergents, il doit donc être hypermétrope pour voir nettement les caractères.

Quand la lentille divergente est à gauche contre la lentille convergente, leur ensemble forme une lentille divergente, les rayons venant de l'écran sont après leur passage à travers l'instrument, très divergents en arrivant à l'œil.

A mesure que la lentille divergente se déplace dans toute la longueur du tube depuis l'écran jusqu'à la lentille convergente, les rayons émergents, d'abord convergents, à la sortie, deviennent de moins en moins convergents, puis parallèles, puis de plus en plus divergents. En cherchant quelle est la position de cette lentille dans laquelle l'œil voit nettement les caractères, on en déduit l'amétropie de cet œil par une simple lecture sur une graduation. Il faut remarquer qu'il y a diverses positions de la lentille pour lesquelles l'œil peut lire, en accommodant plus ou moins, il faut chercher la limite extrême de lecture du côté des rayons les moins divergents, c'est-à-

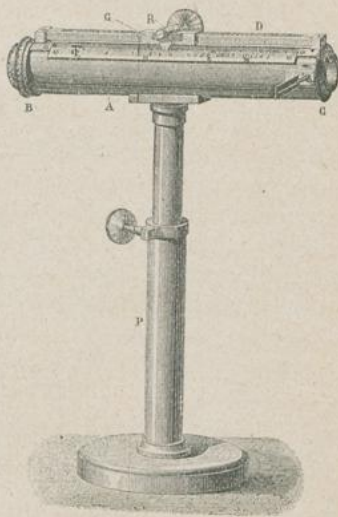


Fig. 391.



dire en écartant le plus possible la lentille divergente de l'œil, c'est alors que l'œil est non accommodé.

On peut en se servant de l'optomètre de Perrin et Mascart, comme de celui de Badal du reste, mesurer non seulement le degré d'amétropie d'un sujet, mais aussi son amplitude d'accommodation. Il suffit pour cela de chercher les limites extrêmes entre lesquelles il peut voir, l'une d'elles correspond à la vision non accommodée, l'autre à la vision accommodée au maximum. Supposons par exemple que l'on trouve comme limites  $-2$  et  $-7$ , cela veut dire que le verre  $-2$  permet au sujet de voir à l'infini, c'est le verre correcteur de sa myopie. Mais ce même sujet pouvant encore voir avec  $-7$  doit faire 5 dioptries d'accommodation en passant de  $-2$  à  $-7$ .

Il est aisé de voir ce qui se passe dans chaque cas, le verre le moins divergent est toujours le verre correcteur, son écart avec le verre le plus divergent représente l'amplitude d'accommodation.

Ainsi un sujet qui verrait de  $+3$  à  $-5$  serait un hypermétrope de 3 dioptries ayant 8 dioptries d'amplitude d'accommodation.

L'appareil de Perrin et Mascart a deux inconvénients : l'un consiste en ce fait que la graduation correspondant aux diverses amétropies n'est pas égale, les traits sont très écartés les uns des autres dans une région, et très serrés dans une autre. La sensibilité de l'instrument n'est donc pas la même pour toutes les amétropies. Mais il y a un défaut plus grave encore : quand on regarde l'image de l'écran et que l'on déplace la lentille divergente, la grandeur de l'image varie énormément, on peut donc être induit en erreur par la personne que l'on examine. Elle peut accuser une vue meilleure pour une image plus grande que pour une autre vue petite et cependant plus nette.

L'optomètre de Badal (fig. 393 et 394) est exempt de ces défauts. Il se compose essentiellement d'un tube vers l'une des extrémités duquel se trouve une lentille ayant  $6^{\circ},5$  de distance focale. Un petit écran porteur des signes à lire se déplace le long du tube et l'œil est placé de façon que son centre optique coïncide avec le foyer de la lentille. Quand l'objet est contre la lentille, l'image y est aussi, les rayons arrivent à l'œil comme partant d'un objet situé à  $6^{\circ},5$  de cet œil, ils sont très divergents. A mesure que l'objet se déplace vers la droite, ces rayons deviennent de moins en moins divergents, quand l'objet est au foyer F' ils sont parallèles, puis ils deviennent convergents. Cet instrument fonc-

tion  
lem  
gran  
para  
pass  
conc  
se tr



que l  
parco  
celui  
que c  
le suj  
en cor  
que c

L'op  
réline  
Il se



tionne donc comme celui de Perrin et Mascart, mais on voit facilement que, pendant le déplacement de l'objet, l'image reste de grandeur constante. En effet, par le sommet de l'objet, menons une parallèle  $AA'$  à l'axe optique; ce rayon se réfractera suivant  $A'F$ , passant par le centre optique de l'œil, puisque ce centre optique concorde avec le foyer de la lentille. L'image du sommet de l'objet se trouve donc sur la ligne  $FA'X$ , et pour avoir l'image rétinienne

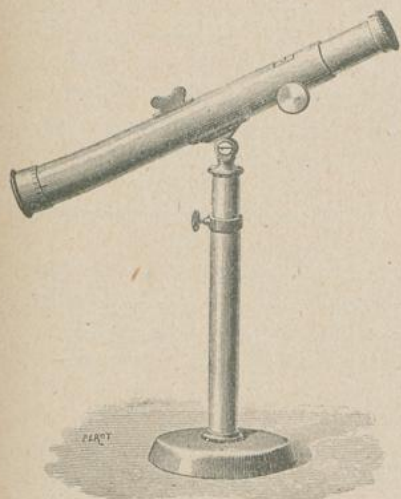


Fig. 392.

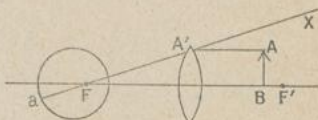


Fig. 393.

il suffira de joindre au point  $F$  le point de  $FA'X$  où se trouve l'image formée par la lentille. L'image rétinienne sera toujours en  $a$ . On voit que, dans tous les cas, quelle que soit la position de  $AB$ , on aura la même ligne  $AA'$ , le même rayon réfracté  $A'F$  et la même image rétinienne  $a$ . L'image rétinienne est donc de grandeur constante. Il se trouve

que la graduation de l'optomètre est équidistante dans tout son parcours, et par suite il est exempt des deux inconvénients de celui de Perrin et Mascart. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que cet instrument doit être bien réglé : on n'est jamais certain que le sujet soumis à l'examen place le centre optique de son œil bien en concordance avec le foyer : cela dépend de trop d'éléments pour que ce réglage soit parfait.

## XI

## OPHTALMOSCOPIE

L'ophthalmoscope est un instrument permettant d'observer la rétine ou de déterminer les amétropies de l'œil.

Il se compose essentiellement d'un miroir destiné à éclairer le

fond de l'œil. Pour obtenir ce résultat on place à côté de la personne soumise à l'examen une lumière L, une lampe ou un bec de gaz, puis l'observateur O, armé d'un miroir, envoie la lumière réfléchie sur l'œil de l'observé O'. Il y a intérêt à se servir d'un miroir convergent qui donne un meilleur éclairage que le miroir plan. Le miroir est percé d'un trou, et c'est à travers ce trou que l'observateur regarde pour examiner l'œil de l'observé.

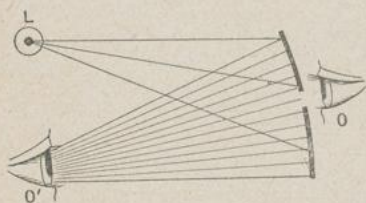


Fig. 391.

Comme on regarde la rétine à travers les milieux réfringents de l'œil, c'est en réalité une image de cette rétine que l'on voit; cette image peut être réelle et renversée, ou bien virtuelle et droite. Examinons successivement ces deux cas.

Il faut avant tout se rappeler le principe du retour inverse des rayons, d'après lequel si un objet forme une image à travers un système optique quelconque, en considérant cette image comme un objet, l'image de ce nouvel objet se superpose à l'objet pri-

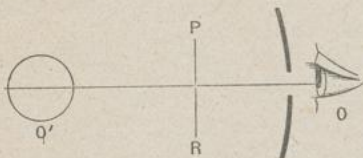


Fig. 395.

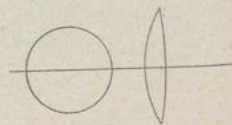


Fig. 396.

mitif, les rayons lumineux se propageant suivant le même chemin que précédemment, mais en sens inverse.

Ceci étant, considérons un œil myope O' dont le *punctum remotum* se trouve dans le plan PR (fig. 395). Cela veut dire que cet œil étant non accommodé, l'image réelle et renversée des objets situés dans le plan PR se forme nettement sur la rétine. Il en résulte, d'après le principe du retour inverse des rayons, que la rétine de O' étant éclairée, son image réelle et renversée se forme dans le plan PR. Il suffira que l'œil observateur placé en O accommode sur le plan PR pour voir nettement l'image de la rétine. L'œil observateur O pourra regarder directement l'image se formant dans le plan PR, ou bien se servir à cet effet d'une loupe qu'il placera derrière le trou de l'ophthalmoscope.



Ces explications au sujet de l'image renversée ne s'appliquent que si l'œil observé est assez myope pour que son *punctum remotum* se trouve en avant de l'observateur, mais il est aisé de ramener tous les yeux à ce cas : pour cela il suffit de les munir d'une lentille fortement convergente. On sait que si l'on place devant l'œil d'un emmétrope une lentille convergente (fig. 396) il ne voit pas à l'infini, il est devenu myope. Il en est de même pour un hypermétrope si la puissance de la lentille placée devant son œil est supérieure à celle de son verre correcteur. La lentille que l'on emploie dans ce but en ophtalmoscopie, a environ 13 à 14 dioptries ; par conséquent, dans tous les cas où l'on n'a pas affaire à une hypermétropie exceptionnelle, on pourra transformer l'œil observé en œil myope et obtenir une image réelle et renversée en avant de l'observateur.

Il est très important de ne pas confondre cette lentille placée devant et près de l'œil observé pour le rendre myope, avec la lentille que les observateurs à accommodation insuffisante placent derrière le trou de l'ophtalmoscope, pour leur servir de loupe et regarder l'image réelle produite par la première lentille.

La lentille de 13-14 dioptries tenue à la main par l'observateur, lui sert dans le cas où l'image de la rétine ne lui apparaît pas avec une grande netteté, à mettre au point comme on le fait avec le microscope en écartant ou rapportant le système optique de l'objet que l'on veut voir. La même lentille a encore un autre usage, elle permet d'amener dans le champ les divers points de la rétine. Quand on regarde au microscope, on déplace la préparation sous l'objectif pour l'explorer dans ses diverses parties. On pourrait arriver au même résultat en déplaçant le corps de l'instrument au-dessus de la préparation : c'est l'analogie de cette manœuvre que l'on exécute en promenant la lentille devant l'œil observé, de droite à gauche, de haut en bas, etc., de façon à voir successivement les différentes régions de la rétine.

Passons maintenant à l'observation à l'image droite. Admettons d'abord que l'observateur O et l'observé O' soient emmétropes et non accommodés (fig. 397). Un point A' de la rétine observée émet un faisceau conique divergent sortant de l'œil par l'ouverture de la pupille. Comme cet œil regarde à l'infini, en vertu du principe

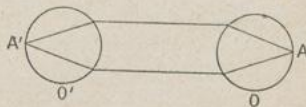


Fig. 397.



du retour inverse des rayons, les rayons émergents seront parallèles entre eux. Ces rayons parallèles entre eux tombant sur l'œil observateur regardant aussi à l'infini, y pénétrèrent et forment une image nette sur la rétine en A. Par conséquent l'œil observateur voit nettement la rétine de A'. Tout se passe comme si l'œil observateur regardait la rétine de O' à travers une loupe formée par le système optique de O', l'objet étant placé au foyer.

Supposons maintenant l'œil observé hypermétrope (fig. 398). Les rayons partis de A' ne seront plus parallèles entre eux à la sortie. On sait que l'œil hypermétrope n'est pas assez réfringent, il se comporte comme un œil emmétrope muni d'une lentille divergente. Les

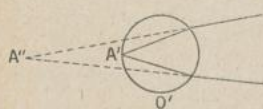


Fig. 398.

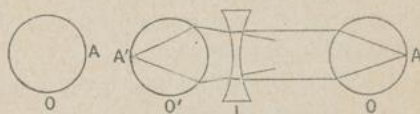


Fig. 399.

rayons sortant de l'œil hypermétrope non accommodé seront donc divergents, ils sembleront partir d'un point A'' et il suffira à l'œil observateur O d'accommoder sur A'' pour voir nettement l'image de la rétine de O'. C'est encore le cas de l'observateur à la loupe, l'objet étant placé entre le foyer et la lentille formant loupe.

Prenons enfin le cas où l'œil observé serait myope (fig. 399). Les rayons partant de A' et sortant de cet œil formeraient alors un faisceau convergent. Un pareil faisceau ne pourrait, comme on le sait, former une image nette sur la rétine de O. Il faut alors placer entre O et O' une lentille divergente de puissance suffisante pour rendre le faisceau parallèle ou divergent avant son arrivée à O. S'il est parallèle il formera sur la rétine de O une image nette A sans que O accomode. Si, au contraire, la lentille L est plus puissante et que le faisceau soit rendu divergent, il faudra que l'œil O accomode pour qu'il se forme sur sa rétine une image nette comme dans le cas de l'observation de l'œil hypermétrope.

Si enfin l'observateur n'est plus emmétrope, il n'y a qu'à lui adjoindre un verre correcteur le ramenant à l'emmétropie pour retrouver les trois cas que nous venons d'examiner.

Afin de pouvoir faire passer facilement entre O et O' les lentilles voulues, certains ophtalmoscopes sont munis d'une série de verres montés sur un disque ou sur un autre dispositif. Ces ophtalmo-

scopes  
modél  
  
Dét  
scope  
avec l  
cherch  
nette e  
habilet  
cédé,  
compo  
Voic  
plan, c  
on se  
que la  
ment t  
façon à  
la figu  
une on  
tirer de  
En p  
la tach  
Elle  
est alor  
Enfin  
l'on pui  
on peut  
c'est-à-  
par un  
de ne p  
sujet.  
Si l'  
plus d'u  
pour ce  
gents de  
de nouv  
faible de  
directe.  
l'ombre  
a encore



scopes sont dits à réfraction, il y en a un nombre considérable de modèles.

**Détermination d'une amétropie à l'aide de l'ophtalmoscope.** — On peut trouver le verre correcteur d'une amétropie avec l'ophtalmoscope à réfraction en observant l'image droite et cherchant le changement de lentille qui transforme une image nette en une image trouble. Cette méthode exige une assez grande habileté et n'est pas très précise ; il y a au contraire un autre procédé, dit de la skiascopie, qui n'exige aucun apprentissage et comporte la plus grande précision.

Voici comment on opère. On prend un ophtalmoscope à miroir plan, et la lampe étant comme d'habitude placée à côté du sujet, on se met à 1 mètre de ce sujet et on éclaire. On constate alors que la pupille paraît lumineuse dans son entier. Si l'on fait légèrement tourner entre les doigts le manche de l'ophtalmoscope, de façon à déplacer latéralement la tache lumineuse qui se produit sur la figure de l'observé, on constate que la pupille est envahie par une ombre. Suivant la façon dont cette ombre apparaît on peut en tirer des conclusions différentes.

En premier lieu l'ombre peut marcher dans le même sens que la tache lumineuse, elle est dite directe.

Elle peut marcher en sens contraire de la tache lumineuse, elle est alors inverse.

Enfin elle peut apparaître et disparaître tout à coup, sans que l'on puisse dire dans quel sens elle marche. Dans ce dernier cas, on peut immédiatement préciser le verre correcteur, c'est  $-1$ , c'est-à-dire que l'on a affaire à un myope d'une dioptrie, corrigé par un verre divergent d'une dioptrie. Ceci n'est vrai, il importe de ne pas l'oublier, que lorsque l'observateur est à 1 mètre du sujet.

Si l'ombre est inverse, l'observé est encore myope, mais il a plus d'une dioptrie de myopie. On cherche alors à le corriger ; pour cela on fait passer devant son œil une série de verres divergents de puissance croissante. Il arrive un moment où l'on observe de nouveau l'envahissement en masse de l'ombre ; le verre plus faible donne encore l'ombre inverse, le verre plus fort l'ombre directe. Quand dans ces conditions on aperçoit le phénomène de l'ombre en masse, on peut en conclure que l'œil armé de son verre a encore une dioptrie de myopie, il faut donc forcer d'une unité



la puissance du verre pour avoir la correction parfaite. Si  $-3$  donnait l'ombre en masse,  $-4$  serait le verre correcteur.

Lorsque au début de l'observation l'ombre est directe, on fait la même série d'opérations avec des verres convergents. Quand on arrive au verre donnant l'ombre en masse, l'œil a de nouveau une dioptrie de myopie; il faut donc, pour avoir la correction, superposer un verre  $-1$  au verre convergent produisant cet effet, ce qui revient à retrancher une unité à la valeur de la puissance du verre convergent employé. Si, par exemple,  $+3$  est ce verre donnant l'envahissement en masse,  $+2$  est le verre correcteur. On voit que si cet envahissement est produit par le verre  $+1$ , on trouve comme verre correcteur  $0$ , c'est-à-dire que l'on a affaire à un emmétrope.

REMARQUE IMPORTANTE. — Quand on envoie la lumière sur l'œil aussi bien pour observer la rétine que pour appliquer la méthode de l'ombre pupillaire, il faut recommander au sujet de ne pas regarder dans le miroir. Sans cela la lumière tombe au fond de l'œil sur la partie la plus sensible de la rétine, par réflexion la pupille se contracte, ne présente plus qu'une ouverture très petite et l'observation devient très difficile.

Voici l'orientation de choix de l'œil observé. On dit au sujet de regarder vers l'observateur du côté de l'oreille de même nom que l'œil examiné et à une vingtaine de centimètres en dehors, en fixant un point éloigné derrière l'observateur. Dans ces conditions la lumière tombe aux environs de la papille, région peu sensible, la pupille se dilate beaucoup, ce qui facilite l'observation. Dans ce cas, d'ailleurs, l'observateur voit immédiatement la papille qui est un repère important et dont l'examen est capital dans les explorations ophthalmoscopiques.

## XII

### ENDOSCOPIE

Les tissus vivants ne sont en général pas transparents pour la lumière ordinaire, et l'on ne peut voir directement ce qui se passe dans les cavités du corps. Tout au plus est-il possible, grâce à un éclairage intense, d'apercevoir des ombres ou de reconnaître la plus ou moins grande translucidité d'une région. C'est ainsi qu'en

placant  
naitre  
par su  
L'exa  
vices,  
opaqu  
c'est  
men p  
Sup  
cas de  
elle d

observa  
ment.  
scrotu  
pas; il  
droite  
devien  
prendre  
formati  
Lors  
commu  
examin  
Pendos  
La P  
d'une c  
soit en  
lumière  
vation,  
la sour  
interne



plaçant une lumière dans l'intérieur de la bouche on peut reconnaître si les sinus maxillaires sont translucides ou non, et si, par suite, ils sont vides ou s'ils contiennent une substance opaque. L'examen de la translucidité des tissus peut rendre de grands services, il exige toutefois une interprétation judicieuse. Un corps opaque dans un tissu translucide peut échapper à l'observation, c'est ainsi qu'en général on ne voit pas le testicule dans l'examen par transparence de l'hydrocèle. En voici la raison.

Supposons que la lumière vienne de gauche à droite dans le cas de la figure 400, la surface gauche du scrotum est éclairée, elle diffuse la lumière dans toutes les directions et, pour l'œil

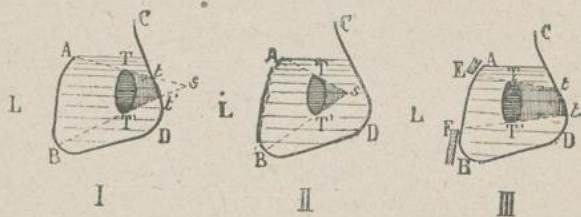


Fig. 400.

observateur placé à droite, devient la véritable source d'éclaircissement. Si le testicule n'est pas assez voisin de la paroi droite du scrotum (fig. 400, II), il n'y projette pas d'ombre et on ne le voit pas; il faut, pour qu'il apparaisse, ou bien qu'il se déplace vers la droite (fig. 400, I), ou bien que la surface éclairée à gauche devienne assez restreinte (fig. 400, III); il suffit pour le comprendre de se reporter à ce que nous avons dit à propos de la formation des ombres.

Lorsque les cavités que l'on veut explorer ont un orifice de communication avec l'extérieur, on profite de cet orifice pour examiner l'intérieur de la cavité; on pratique ce que l'on nomme l'endoscopie.

La première des conditions pour pouvoir examiner l'intérieur d'une cavité est de l'éclairer; ceci peut se faire de deux façons: soit en prenant une source de lumière externe et envoyant la lumière par un dispositif convenable à l'endroit soumis à l'observation, c'est l'endoscopie à lumière externe; soit en introduisant la source lumineuse dans la cavité, c'est l'endoscopie à lumière interne.

Le problème qui se pose est en somme analogue à celui auquel on se heurte quand on veut regarder au fond d'une clef : la diffi-

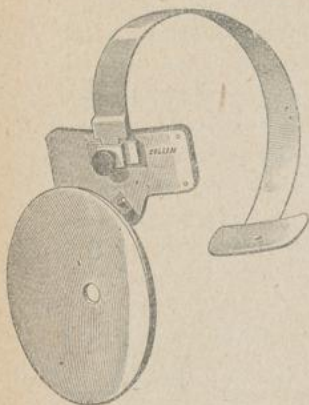


Fig. 401.

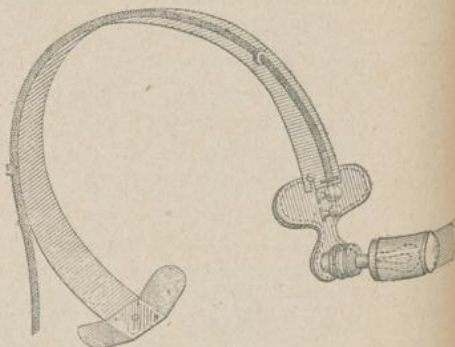


Fig. 402.

culté est d'éclairer le fond de cette clef et d'y regarder en même temps, c'est-à-dire de ne pas placer la tête entre la source lumineuse et la clef pour ne pas projeter d'ombre, ni la lumière entre la clef et l'œil pour ne pas être ébloui.



Fig. 403.

attaché sur le front, on envoie la lumière venue de la lampe dans la direction de l'objet à examiner. En même temps on

regar  
représ  
place  
miroir  
envoy  
Pou

l'éclair  
il n'en  
cache  
bien c  
une tig  
bonne

on reg  
représe

S'il  
ou de l  
pour c  
années

L'ur  
sonde  
dont la  
rage. L



regarde à travers un trou de miroir (fig. 401). La figure 401 représente un miroir de cette espèce pouvant être maintenu en place par un ressort passant sur la tête. Dans la figure 402 le miroir est supprimé et remplacé par une petite lampe électrique envoyant la lumière dans la direction convenable.

Pour l'œil et le conduit auditif externe, le miroir percé suffit à

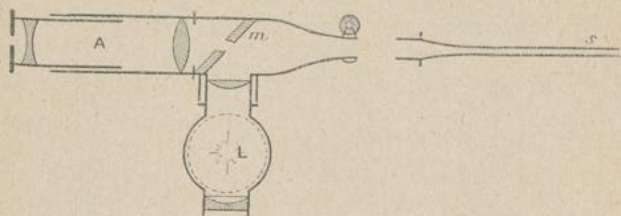


Fig. 401.

l'éclairage, on peut ainsi voir directement la région à examiner; il n'en est plus de même dans le cas du larynx, qui se trouve caché derrière la base de la langue. On emploie alors un artifice bien connu : on introduit dans la bouche un petit miroir porté par une tige métallique et on renvoie la lumière qu'il reçoit dans la bonne direction, ce à quoi on arrive facilement. En même temps

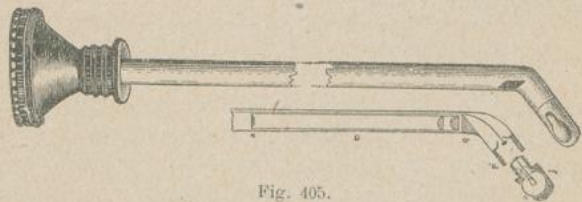


Fig. 405.

on regarde l'image de la glotte dans ce petit miroir comme le représente la figure 403.

S'il s'agit d'examiner l'intérieur de l'œsophage, de l'estomac ou de la vessie, les choses deviennent plus délicates, c'est surtout pour ce dernier organe que l'endoscopie a fait dans ces dernières années des progrès considérables.

L'urétroscope de Désormeaux (fig. 404) se composait d'une sonde S sur laquelle se plaçait une monture portant la lampe L dont la lumière réfléchiée sur le miroir percé m fournissait l'éclairage. L'observation se faisait soit directement à travers le trou du

miroir, soit à l'aide d'une petite lunette de Galilée que l'on pouvait adapter derrière ce trou. Cet instrument a subi divers perfectionnements de détail, mais en général on préfère aujourd'hui faire usage des cystoscopes à lumière interne. Le type des instruments est celui de Nitze (fig. 405). Une petite lampe électrique est portée au bout de la sonde, elle éclaire par une ouverture latérale la région à examiner. Cette même région est vue par le tube de

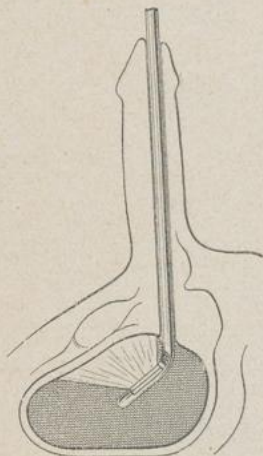


Fig. 406.

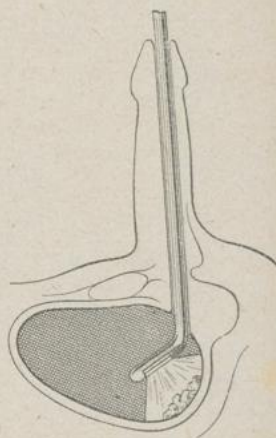


Fig. 407.

l'instrument grâce à un système optique se composant de lentilles et d'un prisme à réflexion totale. Les observations se font en distendant légèrement les parois de la vessie par l'introduction d'un liquide transparent, et, suivant la région à explorer, on emploie des cystoscopes à courbure différente. Ainsi les figures 406 et 407 représentent des cystoscopes de Leiter pour l'observation de la région antérieure ou de la région postérieure de la vessie.

Le système optique des cystoscopes à lumière interne a été modifié par divers chirurgiens, mais tous ces instruments reposent sur les mêmes principes. On peut les munir, à l'extrémité, d'appareils divers, anses galvaniques, pinces, etc., permettant certaines petites opérations sans recourir à la taille.

Qua  
plus p  
rétinie  
dation

chemer  
On se  
donner  
peut ob  
La l

Pon tie  
lentille  
objet es  
Pour av  
optique  
Ici il  
du poin  
Après r



## XIII

## LOUPES

Quand on cherche à voir les détails d'un objet on l'approche le plus possible de son œil afin d'accroître la grandeur des images rétinienne. Mais on sait qu'il arrive un moment où l'accommodation étant à son maximum on ne peut plus continuer ce rappro-

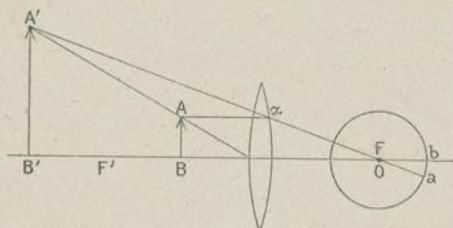


Fig. 408.

chement, les images rétinienne ne conservant plus leur netteté. On se sert alors d'une loupe dont le but est par conséquent de donner des images rétinienne nettes plus grandes que celles qu'on peut obtenir dans les meilleures conditions de vision à l'œil nu.

La loupe la plus simple consiste en une lentille convergente que

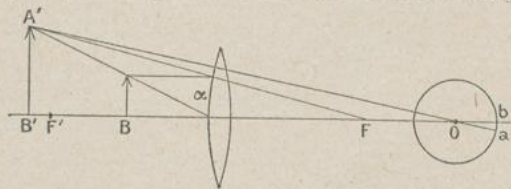


Fig. 400.

l'on tient près de l'œil, l'objet à examiner étant placé entre la lentille et le foyer. Dans ce cas l'objet étant AB, l'image de cet objet est A'B'. Cette image est droite, et c'est elle que l'œil regarde. Pour avoir l'image rétinienne A' il suffit de joindre A' au centre optique O de l'œil et de prolonger cette droite jusqu'à la rétine. Ici il y a une remarque importante à faire. Pour trouver l'image du point A, on mène une droite Az parallèle à l'axe de la lentille. Après réfraction cette droite devient  $\alpha F$  passant par le foyer.

L'image  $A'$  de  $A$  sera quelque part sur  $Fz$ . Si le centre optique de l'œil coïncide avec le foyer  $F$  (fig. 408), la droite joignant  $A'$  au centre optique de l'œil sera ainsi précisément  $\alpha F$ . Or, quand  $AB$  se déplace, en se rapprochant ou s'éloignant de la lentille, le rayon  $Az$  ne change pas,  $\alpha F$  est par suite toujours le même, donc quelle que soit la position de  $AB$  par rapport à la lentille, et par suite quelle que soit la position de l'image  $A'B'$ , l'image rétinienne  $ab$  sera de grandeur constante. Dans ces conditions peu importe que l'on accommode ou non, on tirera toujours le même avantage de la loupe.

Mais si le centre optique de l'œil, est plus éloigné de la lentille que le foyer  $F$  (fig. 409), on voit, en répétant le même raisonnement, qu'en joignant  $A'O$  pour obtenir l'image rétinienne  $a$ ,  $ab$  sera d'autant plus grand que  $A'B'$  s'éloignera davantage de la lentille vers la gauche. L'œil observateur a donc intérêt à relâcher son accommodation le plus possible, et, pour que l'image s'éloigne, on devra aussi éloigner l'objet  $AB$  de la lentille. Dans le cas d'un œil emmétrope, il y aurait intérêt à ce que  $A'B'$  se trouve à l'infini, on observe alors en plaçant  $AB$  au foyer  $F'$  de la lentille.

Si enfin le centre optique de l'œil est plus rapproché de la lentille que le foyer  $F$  (fig. 410), on voit immédiatement que l'image rétinienne  $ab$  sera d'autant plus grande que

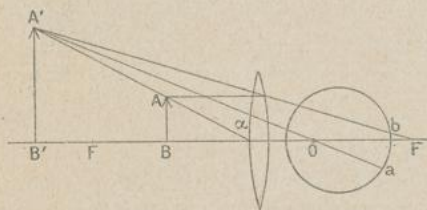


Fig. 410.

l'objet  $A'B'$  sera plus près de la lentille.

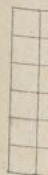
Dans ce cas il y a intérêt à observer avec le maximum d'accommodation et à rapprocher l'objet de la lentille jus-

qu'à ce que l'image se forme au punctum proximum.

Il résulte de ce qui précède, qu'avec les loupes à longue distance focale, le centre optique de l'œil étant généralement en avant du foyer, on a intérêt, pour avoir l'image la plus grande possible, à observer avec maximum d'accommodation. Au contraire, avec les loupes à courte distance focale, le centre optique de l'œil est en arrière du foyer, et l'on voit dans les meilleures conditions possibles en relâchant son accommodation.

Quand on n'a pas besoin d'une trop grande amplification, la loupe formée d'une simple lentille suffit en général, mais à mesure

qu  
s'int  
bon  
En  
On s  
l'ima  
qui s  
que  
l'axe  
enter  
sont



grossi  
image  
de ces  
l'expé  
culté  
derriè  
il sera  
En  
lumièr  
tions  
la for  
diffère  
posent  
imparf  
ration  
de ce  
l'emple  
Suivan



que l'on prend les grossissements de plus en plus forts on voit s'introduire une série de défauts ou aberrations, qui nuisent à la bonne qualité des images et qu'il devient nécessaire d'éliminer.

En premier lieu nous trouvons les aberrations de sphéricité. On sait que lors de la réfraction à travers une surface sphérique, l'image d'un point n'est pas rigoureusement un point. Les rayons qui se réfractent sur les bords ne vont pas concourir au même point que ceux qui passent au centre. A mesure que l'on s'éloigne de l'axe, cette erreur devient de plus en plus importante, et cela, bien entendu, d'autant plus rapidement que les surfaces réfringentes sont à plus grande courbure. Quand on emploie des lentilles à fort

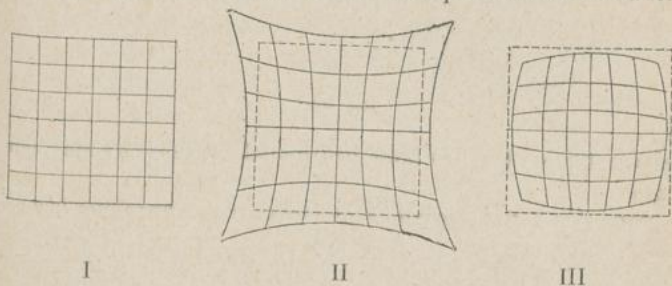


Fig. 411.

grossissement, il faut donc, sous peine d'avoir de très mauvaises images, se limiter à la réfraction produite par le centre seulement de ces lentilles, ce qui cause une grande perte de lumière. Mais l'expérience et la théorie montrent que l'on peut tourner la difficulté en associant convenablement plusieurs lentilles les unes derrière les autres. Cette association varie suivant les modèles, et il serait hors de propos d'en faire ici une étude théorique.

En second lieu nous avons les aberrations chromatiques. La lumière n'étant pas simple, comme on le sait, et les diverses radiations qui la composent étant inégalement réfractées, on a, lors de la formation des images par les lentilles, des foyers et des images différentes pour chacune des radiations. Ces images ne se superposent pas en général, ou du moins ne le font que d'une façon très imparfaite, il en résulte sur leurs bords des phénomènes de coloration qui en altèrent la netteté. Il suffit, pour se rendre compte de ce fait, de regarder, avec une forte lentille convergente, en l'employant comme loupe, l'image d'un dessin noir sur fond blanc. Suivant la position de la lentille par rapport à cet objet, on voit se

produire, autour de l'image de chaque trait, des irisations de couleur bleue et jaune orangé.

C'est encore par des combinaisons de lentilles que l'on arrive à compenser ce défaut et à fabriquer ce que l'on appelle des loupes

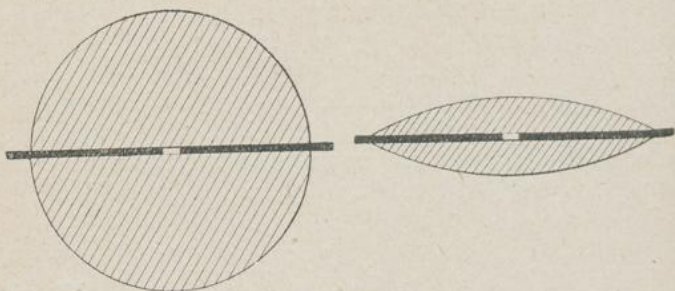


Fig. 412.

achromatiques; tous les bons instruments doivent être ainsi corrigés.

Enfin il y a des aberrations de forme grâce auxquelles l'image

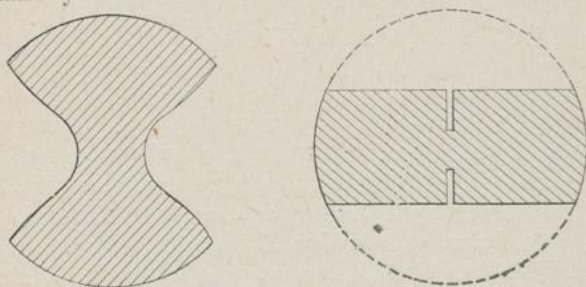


Fig. 413.

n'est pas semblable à l'objet. En regardant à la loupe une figure plane, l'image n'est pas plane; on ne sera pas au point simultanément pour le centre de l'image et pour les bords. Chose plus grave encore, l'image est déformée, dans le plan. Si, par exemple, on regarde un carré quadrillé (fig. 411, I), on a soit l'apparence II dite déformation en sablier, soit l'apparence III dite déformation en barillet. Ce genre d'aberration, qui porte le nom de distorsion est une des plus difficiles à corriger; pour la réduire au minimum on associe des lentilles, comme on le fait pour supprimer les autres aberrations.

Di  
loupe  
quées  
comp  
Pa  
loupe  
plan-c  
lentill  
phrag  
rayon  
tions.  
condit  
une p  
La  
Wolla  
Enfi

miné d  
plan c  
observ  
Parn  
laston  
nées de  
teur se  
volonté  
d'un m  
vateur  
lui.  
La lo  
est auss  
de Galil  
converg



**Divers modèles de loupes.** — On peut diviser les loupes en loupes simples et loupes composées suivant qu'elles sont fabriquées d'une seule lentille ou de plusieurs lentilles destinées à la compensation des observations.

Parmi les loupes simples nous signalerons en premier lieu la loupe de Wollaston (fig. 412) qui est composée de deux lentilles plan-convexes, qui ne forment en réalité qu'une seule lentille. Entre ces deux lentilles se trouve un diaphragme percé d'un trou destiné à éliminer tous les rayons voisins des bords et à réduire ainsi les aberrations. On peut arriver de la sorte à observer dans des conditions passables, même avec des loupes formant une petite sphère.

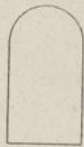


Fig. 414.

La loupe de Brewster ne se distingue (fig. 413) de celle de Wollaston qu'en ce qu'elle est taillée d'une seule pièce.

Enfin la loupe de Stanhope est un petit cylindre de verre ter-

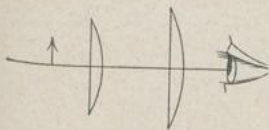


Fig. 415.

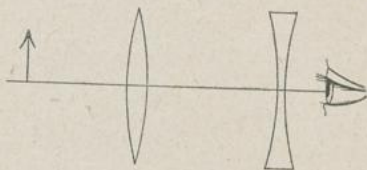


Fig. 416.

miné d'un côté par une surface sphérique, et de l'autre par un plan contre lequel on colle l'objet à examiner. Dans ce cas on observe en réalité à travers un dioptré.

Parmi les loupes composées, nous citerons le Doublet de Wollaston (fig. 415) constitué par deux lentilles plan-convexes tournées de la même façon, le plan regardant l'objet et l'œil observateur se trouvant du côté de la convexité. On peut faire varier à volonté la distance des deux lentilles au moyen d'un mouvement de vis, pour permettre à l'observateur de faire le réglage le plus satisfaisant pour lui.

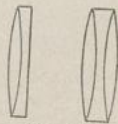


Fig. 417.

La loupe de Chevalier ou de Brücke (fig. 416) est aussi très répandue. C'est en réalité une lunette de Galilée, c'est-à-dire qu'elle est composée d'un objectif, lentille convergente, et d'un oculaire, lentille divergente. On peut à volonté

faire varier la distance à l'objectif pour modifier le grossissement de l'instrument.

Un des avantages de ce dispositif est sa grande distance frontale, c'est-à-dire distance entre l'objet et l'objectif, ce qui permet d'observer, en même temps que l'on pratique sur l'objet certaines manœuvres telles que les dissections, etc.

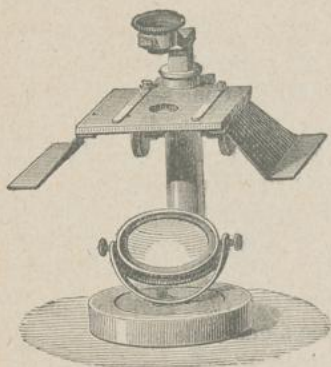


Fig. 418.

Remarquons que souvent les lentilles entrant dans la constitution soit des loupes simples, soit des loupes composées, sont en réalité constituées par deux ou trois lentilles accolées par du baume (fig. 417). Il y a par exemple une

déterminé avec une ou deux lentilles convergentes d'un autre

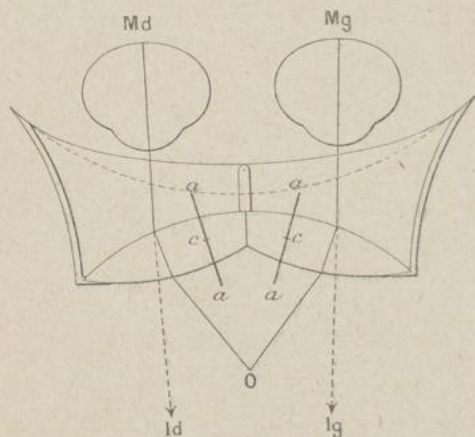


Fig. 419.

verre. C'est là le procédé le plus fréquemment employé pour éliminer les aberrations chromatiques.

Pour éviter d'être obligé de tenir les loupes à la main, pour pouvoir, par exemple, disséquer sous une loupe, il faut la main-



tenir dans un support. Divers dispositifs ont été imaginés dans ce but, celui qui est aujourd'hui le plus répandu est représenté sur la figure 418, ou est une variante de ce modèle. A l'aide d'un mouvement à crémaillère on peut mettre au point sur l'objet placé sur une platine, les deux ailes latérales permettant d'appuyer les mains pendant le travail de dissection.

Les loupes dont il vient d'être question ont l'inconvénient de n'utiliser que la vision monoculaire, le relief des objets est impar-

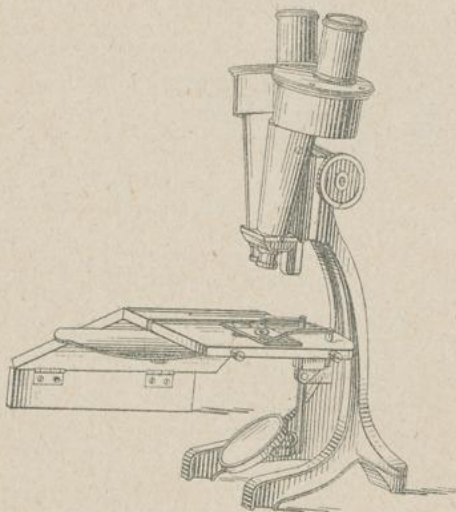


Fig. 420. — Loupe binoculaire Zeiss.

faitement perçu. Il y a souvent intérêt à employer des loupes binoculaires. Pour les faibles grossissements la loupe de Berger donne de très bons résultats (fig. 419). Elle est constituée par deux lentilles convenablement inclinées et décentrées. Ce décentrement permet de fusionner plus facilement les images. L'ensemble des deux lentilles est porté dans une monture en ébonite, maintenue devant les yeux par un ruban faisant le tour de la tête ou par un ressort analogue à celui des miroirs frontaux employés en laryngoscopie.

Pour les forts grossissements on est obligé de recourir aux loupes binoculaires du modèle Zeiss par exemple.

Ces loupes sont constituées par de véritables microscopes munis

entre l'objectif et l'oculaire d'un système de prismes redressant les images; on se souvient qu'avec un microscope ordinaire on a des images renversées. On peut varier le grossissement en changeant les objectifs montés sur un patin commun.

## XIV

## MICROSCOPES

Quand l'amplification obtenue par les loupes ne suffit plus on a recours au microscope. Cet instrument est une combinaison de lentilles donnant une image renversée des objets examinés, et

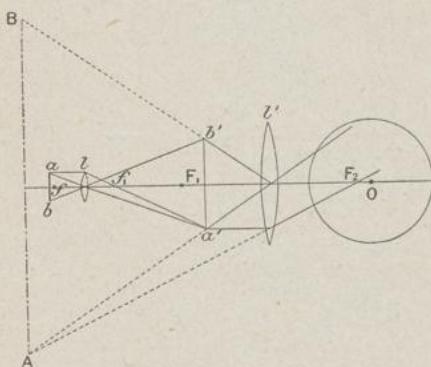


Fig. 421.

L'objet  $ab$  (fig. 421) à examiner est placé au delà du foyer  $f$  de l'objectif, il forme une image réelle et renversée  $a'b'$  que l'on peut voir directement en plaçant l'œil en  $O$  et accommodant sur le plan  $a'b'$ , mais que l'on observe plus généralement avec la lentille oculaire  $l'$  formant loupe et donnant une image virtuelle  $AB$ . C'est cette image  $AB$  que l'œil regarde.

Il est bon de se rendre compte de la marche d'un faisceau lumineux partant d'un point quelconque de l'objet,  $a$  par exemple. Tous les rayons qui partent de  $a$  et qui seront utilisés forment un faisceau conique ayant son sommet en  $a$  et sa base sur la lentille  $l$  (fig. 422); après réfraction ces rayons convergeront en  $a'$ , s'y croi-

dont le grossissement peut être poussé très loin. En présence de son importance nous insisterons un peu sur sa description.

Le microscope se compose essentiellement d'un objectif que nous supposons provisoirement être une simple lentille convergente, et d'un oculaire que nous réduirons aussi à une lentille convergente.

sero  
réfr  
gen  
la g

A

en O  
imag

On  
l'obj  
l'obj  
cope  
plus  
ment

où le  
après  
en  $a'$   
entier

arrête  
un d  
grand  
s'écar  
en rés  
l'imag  
certai  
cela,  
dans l  
tif, u  
faisce



seront et tomberont sur la lentille  $L'$ . Là ils seront de nouveau réfractés et la traverseront en formant un faisceau conique divergent dont le sommet serait en A si l'on prolongeait les rayons vers la gauche. Ces rayons ne passent pas en A, mais pour l'œil placé

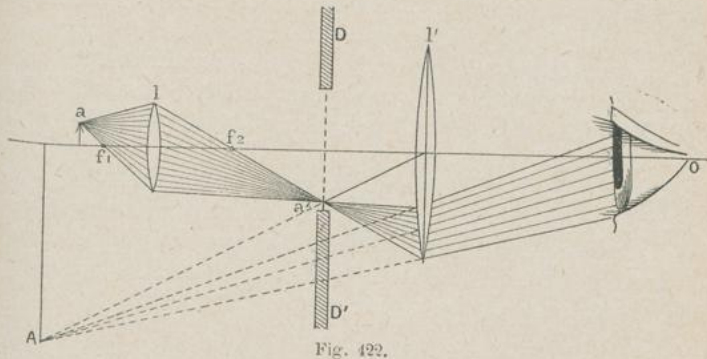


Fig. 422.

en  $O$  ils semblent en venir, c'est pour cela que l'on nomme  $A$  une image virtuelle.

On voit facilement sur la figure 422 que, pour un point de l'objet très voisin de l'axe, le faisceau lumineux pénétrant dans l'objectif  $L$  tombe tout entier sur l'oculaire  $L'$ , traverse le microscope et peut arriver à l'œil. Mais si le point  $a$  s'éloigne de plus en plus de l'axe, latéralement, il arrive un moment où le faisceau lumineux, après s'être entre-croisé en  $a''$ , ne tombera plus tout entier sur l'objectif, il sera arrêté en partie et il y aura un déficit d'autant plus grand que le point  $a$  s'écarte plus de l'axe. Il en résulte que le centre de

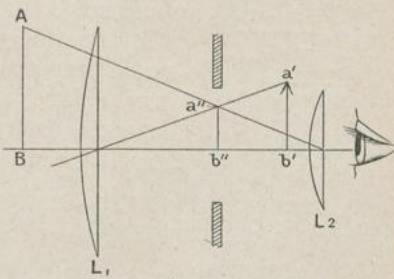


Fig. 423.

l'image vue par l'œil paraît très lumineux, mais qu'à partir d'une certaine distance cette image s'obscurcit graduellement. On évite cela, et l'on obtient un champ d'éclaircissement uniforme en plaçant dans le plan  $DD'$ , où se forme l'image réelle produite par l'objectif, un diaphragme circulaire de façon à ne laisser passer que les faisceaux tombant tout entiers sur la lentille oculaire.

**Oculaires.** — Dans tous les microscopes en usage de nos jours, l'oculaire n'est pas simple. On adopte généralement la combinaison dite de Huyghens, composée de lentilles plan-convexes, la convexité étant tournée du côté d'où vient la lumière. La première lentille  $L_1$ , est placée en avant du plan où devrait se former l'image  $a'b'$  fournie par l'objectif. Il en résulte que cette image est transformée en une autre image réelle  $a''b''$  qui est définitivement regardée à la loupe à travers  $L_2$  en donnant l'image virtuelle AB. Le diaphragme se place alors dans le plan  $a''b''$ . La lentille  $L_1$  porte le nom de lentille de champ.

Le choix de l'oculaire de Huyghens est basé sur cette considération que c'est lui qui permet le mieux de corriger les aberrations de l'image que nous avons signalées à propos de la loupe et qui pourraient devenir très importantes avec les forts grossissements auxquels on arrive avec le microscope.

**Objectifs.** — Les objectifs eux aussi sont composés, ils comprennent un nombre plus ou moins grand de lentilles, jusqu'à six et même davantage. Par exemple, un objectif pourra comprendre trois lentilles plan-convexes  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  placées à la suite les unes des autres. Chacune d'elles, afin de corriger les aberrations chromatiques, sera composée de deux lentilles de substances différentes accolées avec du baume, l'une sera

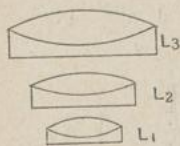


Fig. 424.

plan-concave, l'autre biconvexe.

En dehors des questions de grossissement, les objectifs peuvent se diviser en deux grandes classes : les objectifs à sec et les objectifs à immersion ; pour comprendre l'utilité de ces derniers il faut auparavant entrer dans quelques détails sur la façon dont sont faites les préparations des objets que l'on veut examiner.

**Préparations.** — Les objets que l'on regarde au microscope doivent toujours être très petits, et sauf exception on les observe par transparence. A cet effet ils sont placés sur une lame de verre dite porte-objet ou simplement lame, reposant sur une platine horizontale. L'axe du microscope est vertical, perpendiculaire à la platine, l'objectif étant tourné vers le bas, l'éclairage se fait au moyen d'un miroir disposé sous la platine et envoyant de bas en haut la lumière soit d'une lampe, soit du jour.



On met au point sur la préparation en élevant ou abaissant le corps du microscope au moyen d'un glissement à frottement doux dans un anneau ou d'une crémaillère pour la première approximation, et achevant le dernier réglage avec une vis micrométrique.

Pour pouvoir ainsi être observé par transparence, le petit objet ne peut avoir qu'une épaisseur très faible, il consistera donc en une coupe très mince d'un tissu ou en un petit fragment dissocié de façon à en séparer les éléments. Très souvent on usera de matières colorantes, sur lesquelles il n'y a pas lieu d'insister ici, pour différencier, certaines parties de la préparation prenant la couleur, d'autres ne la prenant pas ou la prenant moins bien. Cette coupe ou ce fragment de tissu dissocié ne reste pas à nu sur la lame, on le plonge dans un liquide approprié et on couvre avec un couvre-objet ou lamelle. Cette pratique sert à soustraire la préparation à la dessiccation, à la poussière et aux altérations diverses, mais en outre elle a un but d'ordre optique. Il suffit, pour s'en convaincre, de regarder un petit objet, un filament de coton par exemple, successivement à sec ou immergé dans un liquide : dans le premier cas on n'aperçoit aucun des détails qui apparaissent avec la plus grande précision quand on regarde le filament dans le liquide ; dans l'air le petit corps paraît opaque, il ne l'est plus dans le liquide. Ceci est facile à comprendre. Quand la lumière traverse un corps poreux comme un filament de coton, ce filament contenant de l'air, la lumière passe par une suite de couches d'air et de matière solide, il en résulte une série de réflexions et de réfractions donnant lieu à des pertes de lumière et à des changements de direction. Cet effet sera d'autant moindre que le corps sera plongé dans un milieu dont l'indice de réfraction se rapprochera plus du sien propre. Une expérience très simple met bien ce fait en évidence. Plaçons une petite tige de verre dans un flacon en la faisant passer à travers un trou du bouchon qui la maintiendra. Si le flacon ne contient que de l'air, le petit bâton, sur un fond blanc, sera très visible, il semblera même noir sur les bords. Plongeons-le dans l'eau, il semblera plus transparent, les zones noires des bords tendent à disparaître. Si nous remplaçons l'eau par du baume de Canada dont l'indice de réfraction est très voisin de celui du verre, c'est à peine si l'on



Fig. 425.



pourra apercevoir la petite tige. On conçoit qu'un paquet de petites tiges pareilles semblera très opaque dans l'air, mais deviendra de plus en plus transparent à mesure qu'on le plongera dans des liquides dont l'indice se rapprochera de plus en plus du sien. Le même phénomène se produit pour un corps quelconque, un filament de coton par exemple ou un fragment de tissu de l'organisme. Dans certains liquides ces corps deviendront absolument transparents, et pour les apercevoir il sera nécessaire d'avoir recours à la coloration; si cette coloration est bien faite on sera dans d'excellentes conditions pour voir tous les détails du corps. On conçoit maintenant l'importance du choix du liquide servant à inclure les préparations. Suivant que l'on inclura dans l'eau, la glycérine plus réfringente que l'eau, ou le baume, on aura des effets différents et la nécessité d'une bonne coloration se fera d'autant plus sentir que l'indice de réfraction du liquide se rapproche davantage de celui des tissus. On peut observer les tissus de l'organisme sans coloration, dans l'eau ou l'eau salée; dans la glycérine on aura plus de transparence, mais certains détails échapperont si l'on ne colore pas; enfin dans le baume on aura une transparence admirable, mais il faut d'excellents procédés de coloration. Nous verrons plus loin que l'emploi, pour l'inclusion, de liquides à indice de réfractions élevé a encore un autre but.

Prenons maintenant une préparation quelconque et examinons-la avec un objectif à sec. Les détails que nous pouvons distinguer ne dépendent pas uniquement du grossissement du microscope et en particulier de l'objectif employé; on est limité dans cette perception de détails par ce que l'on appelle



Fig. 426.



Fig. 427.

l'angle d'ouverture. Prenons comme objet type une série de petits points ou de petites lignes parallèles (fig. 426), le but que l'on poursuit est de les distinguer les uns des autres au moyen du microscope. Si chacun de ces points donnait comme image un point mathématique, il suffirait de chercher un grossissement suffisant pour que l'intervalle entre deux points puisse être apprécié par l'œil. Mais il n'en est pas ainsi. On démontre que, quelle que soit la perfection du microscope employé, l'image d'un point est une petite tache entourée d'un ou deux petits cercles alternativement obscurs et lumineux (fig. 427), allant en se dégradant peu à peu

com  
nous  
point  
trop  
form  
seule  
est li  
de l'  
un p  
et so  
rayon  
l'obje  
vertu  
de di  
point  
C'est  
Il lui  
parall  
de di  
Dès  
z déte  
indéfi  
semen  
fins sé  
à l'aug  
pour  
d'impr  
et la  
lire le  
C'est  
or il e  
il ne  
le gro  
atteint  
cherch  
cultés  
ne ver  
que da  
mesure  
tifs à g



comme intensité. Ceci est un fait lié à la constitution de la lumière, nous ne pouvons pas nous en débarrasser; on dit que l'image du point est entourée de cercles de diffraction. Si ces cercles sont trop grands par rapport à la distance des deux images punctiformes, il y a confusion entre ces deux images; on en voit une seule au lieu de deux. Or la dimension des cercles de diffraction est liée à ce que l'on nomme l'angle d'ouverture de l'objectif défini de la façon suivante. Soit O un point situé sur l'axe optique du microscope et soumis à l'examen (fig. 428). De O menons un rayon allant au bord de la première lentille de l'objectif, dite lentille frontale,  $\alpha$  est l'angle d'ouverture. Plus cet angle  $\alpha$  est grand, plus les cercles de diffraction sont petits, et mieux les images de points voisins seront séparées les unes des autres.

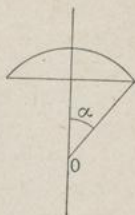


Fig. 428.

C'est l'angle  $\alpha$  qui limite l'utilité que l'on peut tirer d'un objectif. Il lui correspond un certain écartement des points ou des lignes parallèles au-dessous duquel il y a forcément confusion, les cercles de diffraction empiétant alors les uns sur les autres.

Dès lors considérons un objectif ayant un angle d'ouverture  $\alpha$  déterminé: aurons-nous intérêt, à angle  $\alpha$  égal, à augmenter indéfiniment le grossissement? Évidemment non, quand le grossissement sera suffisant pour distinguer nettement les détails les plus fins séparables par l'objectif d'angle  $\alpha$ , il n'y aura aucun avantage à l'augmenter. C'est comme si l'on demandait s'il faut augmenter, pour une personne de vue normale, la dimension des caractères d'imprimerie des journaux: il est évident qu'on pourrait la doubler et la décupler, on ne lirait pas plus, du moment qu'on peut déjà lire les caractères ordinaires.

C'est donc l'angle d'ouverture qui limite le grossissement utile; or il est évident que cet angle ne peut pas augmenter indéfiniment, il ne peut atteindre  $90^\circ$ ; par conséquent il y a une limite dans le grossissement désirable des objectifs à sec. Cette limite est atteinte, même dépassée, par la plupart des constructeurs. En cherchant des grossissements plus forts on augmenterait les difficultés déjà très grandes pour la suppression des aberrations et l'on ne verrait pas plus de détails. Au point de vue pratique, on voit que dans l'achat d'un objectif il ne faut pas se laisser séduire outre mesure par le grossissement, mais donner la préférence aux objectifs à grande ouverture.



Dans la description précédente on a supposé que l'objet regardé était placé dans l'air; que se passe-t-il quand on observe une préparation? Dans l'air on était au point sur  $O$  (fig. 429) et l'angle formé par le dernier rayon utile sur l'axe était  $\alpha$ . Si nous supposons l'objet

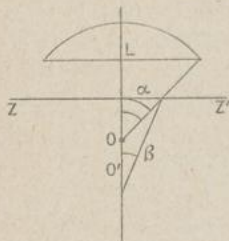


Fig. 429.

couvert par une lamelle dont la face supérieure est  $ZZ$ , et le liquide d'inclusion de même indice que la lamelle, on voit qu'en visant  $O$  supposé dans l'air, on est au point sur  $O'$  de la préparation, le dernier rayon utile faisant avec l'axe l'angle  $\beta$  et se réfractant à la sortie de la lamelle en s'écartant de la normale. La distance frontale, distance de l'objet à la première lentille,  $OL$ , a augmenté, elle est devenue  $O'L$ . L'angle  $\alpha$ , correspondant au rayon extrême entrant dans le microscope, n'a pas changé, et la finesse des détails qu'il est possible de voir est la même.

Supposons maintenant que l'on introduise entre la partie supérieure de la lamelle et la lentille frontale un liquide. Si ce liquide a le même indice de réfraction que la lamelle, les rayons lumineux se propageront en ligne droite depuis le point observé jusqu'à la lentille frontale, comme cela avait lieu dans l'air (fig. 430); on a



Fig. 430.

alors ce qu'on appelle un objectif à immersion. Les détails que l'on peut apercevoir avec un appareil objectif sont encore d'autant plus fins que l'angle  $\alpha$  est plus grand, mais de plus leur dimension diminue quand l'indice de réfraction du milieu qui précède la lentille frontale augmente. Supposons par exemple que cet indice de réfraction soit 1,5, les détails perceptibles seront 1,5 fois plus petits que si l'on observait avec la même ouverture  $\alpha$  et un objectif à sec. Si le liquide à immersion a un indice inférieur à celui de la lamelle et égal à  $n$ , il y a une réfraction au sortir de la lamelle analogue à celle qui se passe avec les objectifs à sec, mais les détails sont  $n$  fois plus petits que dans le cas de l'observation à sec.

Il y a donc intérêt, pour l'observation des détails très fins, à interposer, entre la lentille frontale et la lamelle, des liquides à immersion à grand indice; il faut pour cela que les objectifs soient spécialement construits et corrigés de leurs aberrations dans ce but. Mais pour qu'ils rendent leur effet il faut encore d'autres conditions.



En premier lieu, le milieu dans lequel se fait l'inclusion de la préparation doit avoir un indice de réfraction au moins égal à celui du liquide à immersion placé au-dessus de la lamelle. Aussi les objectifs dits à immersion homogène, c'est-à-dire pour lesquels le liquide à immersion, huile de cèdre, a le même indice que le couvre-objet, ne donnent-ils tout leur effet que pour des préparations incluses dans le baume de Canada.

En second lieu, l'éclairage de la préparation doit se faire avec des rayons convergents dont le rayon extrême fasse avec l'axe du microscope un angle au moins égal à  $\alpha$ . Comme on sait, la lumière est généralement envoyée de bas en haut à travers la préparation, en se servant d'un miroir convergent. Pour qu'un objectif à immersion d'angle d'ouverture  $\alpha$  donne tout son effet, les rayons lumineux d'éclairage doivent arriver sur l'objet examiné O en formant un cône d'ouverture au moins égal à  $\alpha$ . Comme cet angle  $\alpha$  peut être très considérable, le simple miroir convergent ne suffit plus, on se sert alors d'un concentrateur dont le modèle le plus parfait

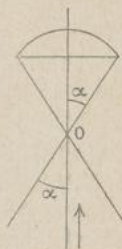


Fig. 431.

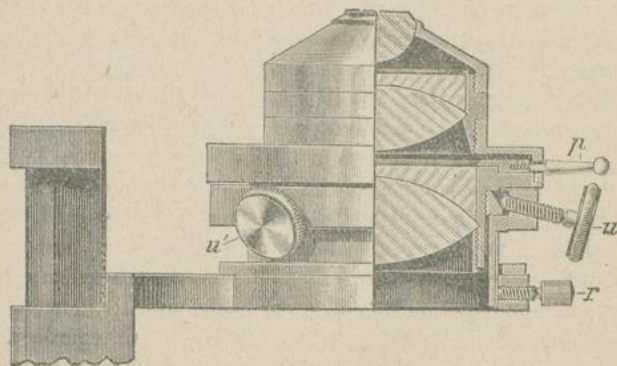


Fig. 432.

est celui d'Abbe (fig. 432). Il se compose de deux ou trois lentilles convergentes très puissantes débarrassées en grande partie de leur aberration chromatique par association avec des lentilles divergentes et dont la supérieure est plan-convexe, le plan étant tourné vers le haut. La lumière doit être envoyée par un *miroir plan* de bas en haut et former à la sortie un cône très convergent vers le



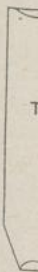
sommet duquel on placera l'objet à observer. Pour qu'il ne se produise pas de réfraction et de réflexion entre la dernière lentille du concentrateur Abbe et le porte-objet, on doit mettre une goutte de liquide entre ces deux surfaces pour supprimer la couche d'air qui s'y trouverait; *faute de prendre cette précaution, que l'on néglige trop souvent, le rendement du microscope est défectueux.*

Il y a encore un point sur lequel il importe d'attirer l'attention, c'est l'influence exercée par l'épaisseur de la lamelle. Dans le cas d'objectif à immersion homogène, cette influence est nulle puisque le liquide interposé entre la lamelle et la lentille frontale ayant le même indice de réfraction que la lamelle, tout se passe comme si l'objet était plongé dans ce liquide à immersion. Mais prenons l'objectif à sec : on sait que, pour avoir une belle image, il faut que cet objectif soit corrigé de diverses aberrations; or ces corrections dépendent de l'épaisseur de la lamelle couvrant l'objet, à chaque objectif correspond une épaisseur de lamelle donnant la plus belle image. On trouve dans le commerce des tests gradués permettant de faire la détermination de cette épaisseur la plus favorable. Ils se composent essentiellement d'une lame de verre sur laquelle on a collé au baume une série de lamelles d'épaisseur déterminée. Chacune de ces lamelles est argentée à sa partie inférieure, et sur cette argenteure on a tracé des lignes enlevant la couche de métal. On observe ces tests au microscope et on cherche pour chaque objectif la lamelle à travers laquelle les lignes sont vues le plus nettement, sans aberrations sur les bords de ces lignes. On a ainsi déterminé la meilleure lamelle correspondant à l'objectif. Ceci fait, à l'aide d'un compas d'épaisseur ou d'un palmer spécialement construit pour cela, on mesure les lamelles des boîtes que l'on achète dans le commerce et on les classe par épaisseurs. Le jour où l'on désire faire une préparation parfaite, destinée à être regardée avec un objectif étudié d'avance, on prend une lamelle correspondant à la meilleure correction de cet objectif.

Ce que nous venons de dire pour les objectifs à sec est encore vrai pour les objectifs à immersion dans l'eau. On peut tourner la difficulté résultant des diverses épaisseurs de lamelle à l'aide des objectifs à correction. Ces objectifs sont munis d'une bague qui, en tournant, produit un déplacement suivant l'axe d'une des lentilles de l'objectif; suivant la position de cette lentille, l'objectif est corrigé pour différentes épaisseurs de lamelle. Quand on se servira

donc  
par u  
image  
positi  
épais  
la cor

Me



P----

grande  
pond  
déduit  
toutes,  
que l'o  
par ex  
avec l'o  
de mill  
Un a  
à repro  
Voici c  
tube du  
observe  
sur la t



donc de cet objectif, il faudra, en faisant tourner la bague, chercher par un tâtonnement la position à donner pour obtenir la meilleure image. Cette bague porte d'ailleurs une graduation indiquant la position à lui donner pour la correction correspondant aux diverses épaisseurs de lamelle. Si l'on connaît la lamelle d'une préparation, la correction se fera donc immédiatement.

**Mesures faites sur la préparation.** — Pour déterminer au

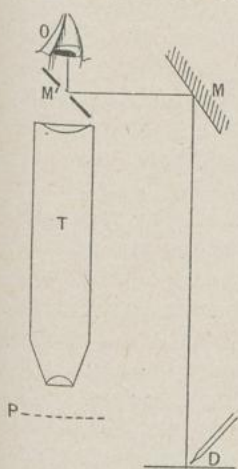


Fig. 433.

moyen du microscope la grandeur d'un objet, on peut se servir soit d'un oculaire micrométrique, soit de la chambre claire.

L'oculaire micrométrique ne diffère des autres oculaires que par la présence dans le plan du diaphragme d'une division micrométrique sur verre. Il en résulte qu'en observant un petit objet, on voit simultanément l'image de l'objet et le micromètre, on peut compter combien il y a de divisions de ce micromètre dans la

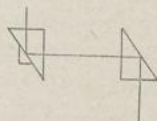


Fig. 434.

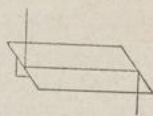


Fig. 435.

grandeur à mesurer. Si l'on sait à quelle valeur métrique correspond chaque division pour l'objectif dont on s'est servi, on en déduit la valeur de la grandeur étudiée. Pour cela, une fois pour toutes, on observe avec cet objectif un petit micromètre objectif que l'on met à la place de la préparation; ce petit micromètre sera par exemple divisé en centièmes de millimètre, et, en l'observant avec l'oculaire micrométrique, on comptera à combien de centièmes de millimètre correspond une division du micromètre oculaire.

Un autre procédé consiste à dessiner à la chambre claire l'objet à reproduire, à côté d'un micromètre reproduit à la même échelle. Voici comment sont faites les chambres claires. Considérons le tube du microscope T muni de son objectif et de son oculaire, on observe la préparation P en mettant Koël en O (fig. 433). Plaçons sur la table, à côté du microscope, un papier sur lequel on exécute



tera le dessin D. La lumière venant du papier se réfléchira sur un premier miroir incliné M, puis un second miroir M' et arrivera à l'œil O. Si le miroir M' est percé d'un trou, on pourra voir simultanément la préparation P à travers ce trou et le microscope, et par une double réflexion le papier D sur lequel on dessine. En général, au lieu d'employer deux miroirs on prend des prismes à réflexion totale qui donnent de meilleures images que le miroir, et qui ne se ternissent pas (fig. 434).

Souvent enfin on réunit les deux prismes à réflexion totale en un seul, c'est de cette façon que sont faites la plupart des chambres claires du commerce (fig. 435).

Bien entendu le prisme placé au-dessous de l'œil doit être percé d'un trou ou muni d'une partie formant lame à face parallèle pour permettre l'observation directe de la préparation.

A l'aide de la chambre claire on peut reproduire sur le papier un dessin de la préparation étudiée. Il suffit ensuite, pour pouvoir y faire des mesures, de remplacer la préparation par un micromètre que l'on dessine dans les mêmes conditions et de joindre ainsi au dessin une petite échelle représentant des fractions de millimètre.

**Ultramicroscopie.** — Habituellement, quand on observe une préparation au microscope, on envoie la lumière de bas en haut dans l'axe même de l'instrument. Le champ paraît ainsi très éclairé et les objets, pour être vus, doivent se détacher sur le fond lumineux, soit par leur opacité, soit par leur coloration. Les petits organismes, cellules, bactéries, etc. ne peuvent être observés à l'état vivant, mais on arrive à les voir au moyen de l'artifice suivant. Au lieu d'éclairer la préparation de bas en haut, on envoie la lumière horizontalement, perpendiculairement à l'axe optique du microscope dont le champ reste sombre. Si toutefois la lumière rencontre un objet capable de la diffuser, cet objet s'éclaire et devient visible. Supposons par exemple que l'on ait des cellules en suspension dans un liquide parfaitement transparent lui-même, la lumière traverse ce liquide sans l'éclairer, ici tout se passe comme lorsqu'un rayon solaire passe dans de l'air parfaitement pur et dépourvu de toute poussière, le rayon solaire ne rend pas l'air lumineux, et un spectateur placé latéralement n'a nullement conscience du passage du rayon. Mais si dans cet air se trouvent de petites particules, de petites poussières, elles s'éclairent et on les voit quoique l'on ne reçoive pas directement le faisceau de lumière.



C'est ce même phénomène qui se produit dans la vision dite ultramicroscopique, on ne regarde plus les objets, opaques ou colorés, sur fond clair, on regarde des objets éclairés et lumineux sur fond noir. On peut ainsi observer des infiniment petits à l'état vivant, sans préparation préliminaire d'aucune sorte. On sait quels services cette méthode rend aujourd'hui pour établir certains diagnostics douteux.

Il n'y a pas lieu de décrire ici la façon dont est disposé le système d'éclairage pour l'observation ultramicroscopique, plusieurs méthodes ont été imaginées; elles consistent toutes, en principe, à envoyer un faisceau lumineux très intense, provenant soit d'un petit arc électrique, soit d'une lampe Nernst, dans une direction telle que la préparation soit vivement éclairée sans que la lumière ne pénètre directement dans le microscope.

C'est du reste à tort que cette méthode porte le nom d'Ultramicroscopie, il ne s'agit pas de voir des corps plus petits que ceux qui sont vus par les méthodes habituelles, du moins pour ce qui concerne des applications médicales, mais de les voir dans d'autres conditions. Le nom d'Ultramicroscopie vient de ce que le procédé a été imaginé et est encore utilisé pour l'étude de particules métalliques de dimensions trop faibles pour pouvoir être décelées au microscope ordinaire, en particulier pour les recherches sur les métaux colloïdaux. Dans les applications biologiques il ne s'agit plus d'Ultramicroscopie, mais simplement d'observation sur fond noir.

**Microscope polarisant.** — Souvent il y a intérêt à observer de petits objets dans la lumière polarisée, en particulier pour voir s'ils sont doués de la double réfraction. On place alors, dans la monture inférieure destinée au condensateur Abbe, un polariseur constitué par un petit prisme de Nicol, c'est lui qui polarisera la lumière tombant sur la préparation. Au-dessus de l'oculaire on place un second Nicol jouant le rôle d'analyseur. Cet analyseur peut tourner autour de l'axe du microscope, de façon à amener à volonté l'extinction ou le passage de la lumière comme il a été indiqué au paragraphe traitant de la polarisation en général. Le fonctionnement de cet appareil est absolument le même que celui du dispositif décrit à l'occasion de la polarisation; on a simplement introduit entre le polariseur et l'analyseur un système optique grossissant destiné à donner des images agrandies des petits objets.

Les  
festan  
électr  
sait qu  
électri  
faire s  
passe  
fluides  
premi  
ceau d  
peau d  
Lorsqu  
au con  
tive, so  
sont re  
et au c  
cité d'e  
Tout  
fluide n  
négatif  
donner  
de ces l  
attire le  
ment il  
sion de  
négative