

Bibliothèque numérique

medic@

Rabuteau, A.. - Des phénomènes physiques de la vision

1869.

Paris : Imprimerie de E. Martinet
Cote : 90975

6

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(Section des sciences physiques)

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES
DE LA VISION

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE LE 29 JUILLET 1869

PAR

A. RABUTEAU

DOCTEUR EN MÉDECINE

LICENCIÉ ÈS SCIENCES PHYSIQUES, LICENCIÉ ÈS SCIENCES NATURELLES

LAURÉAT DE L'INSTITUT DE FRANCE



PARIS

IMPRIMERIE DE E. MARTINET

RUE MIGNON, 2

1869

0 1 2 3 4 5 (cm)

ÉCOLE DE MÉDECINE DE PARIS

CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(les deux dernières années)

JUGES DU CONCOURS.

Professeurs et agrégés à la Faculté :

MM. WURTZ, PRÉSIDENT.

BAILLON.

DESPLATS, SECRÉTAIRE.

GAVARRET.

REGNAULT.

ROBIN.

Membre de l'Académie de médecine :

M. MIALHE.

COMPÉTITEURS.

Section de chimie. Section de physique.

MM. BOURGOUIN. MM. GARRIEL.

GAUTHIER.

RABUTEAU.

HÉBERT.

Section d'histoire naturelle.

MM. MARCHAND.

BOCQUILLON.

PARIS
IMPRIMERIE DE E. MARTINET
2 RUE MARCHAND
1881

cieux dans certains ouvrages, tels que ceux de M. Gavarret (*Des images par réflexion et par réfraction*), de M. Helmholtz (*Optique physiologique*).

Toutefois, j'ai cherché à rendre mon travail aussi neuf que possible.

Ainsi, dans l'étude des phénomènes entoptiques, j'ai émis l'opinion que la perception des objets contenus dans l'humeur vitrée pouvait nous fournir les preuves les plus concluantes, à l'appui des idées de Descartes, touchant la question difficile de la vision droite ou renversée. — Enfin, dans le dernier chapitre, j'ai cherché à ramener à l'étude des mouvements vibratoires de l'éther divers phénomènes, tels que l'irradiation, la persistance des impressions, les couleurs. Ces aperçus ne sont pas nouveaux, car la tendance scientifique actuelle est de ramener tout au mouvement; mais on n'a pas encore fait pour la vision ce qu'on a déjà fait pour l'audition. — Je m'estimerais heureux si j'avais pu apporter une pierre, quelque légère fût-elle, à la construction de l'édifice commun.

On ne peut faire mieux que de combler de cette science sans doute que les considérations mathématiques. La théorie de Gassier dans l'éther des images estropiées de globulides, commence à faire l'ouïe au lecteur de ce qu'il peut trouver dans les œuvres de M. Gassier. J'ai dû par conséquent renoncer celle-ci de ce travail, et l'apporter à la construction de l'édifice, sans doute il me sera nécessaire de le réécrire.

échappe à, menant au droit CB qui, croisé par la perpendiculaire à la droite AB, joue le rôle d'axe éloigné. Le rayon réfléchi AB coupe cette droite en un point, mais la distance CB est sensiblement plus grande que l'angle d'incidence.

DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES DE LA VISION

I

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur un plan, il se réfléchit en formant, avec la normale à ce plan, un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence. De plus, ces deux angles sont dans un même plan perpendiculaire au premier.

Les surfaces quelconques pouvant être considérées comme formées d'éléments plans infiniment petits, il en résulte que le point d'incidence d'un rayon lumineux sur une surface est un plan sur lequel la lumière suit les lois de la réflexion.

Je m'occuperai dans ce premier chapitre des miroirs sphériques, parce que j'aurai plus tard à rappeler la théorie de ces miroirs au sujet des images catoptriques de Purkinje. Les surfaces de la cornée et celles du cristallin ne sont pas, il est vrai, exactement sphériques, mais dans les calculs je les considérerai comme telles.

Les miroirs sphériques ne sont que des calottes de sphère. Ils sont appelés *concaves* ou *convexes*, suivant qu'ils réfléchissent la lumière sur leur surface interne ou sur leur surface externe.

D'après ce que j'ai dit, il faut les considérer comme des surfaces formées d'éléments plans infiniment petits, tous situés à égale distance du centre de la sphère à laquelle ils appartiennent et, par conséquent, normaux aux rayons partant du centre de cette sphère.

éclat dans certains ouvrages, tels que ceux de M. Gavarret,
1^o MIROIRS CONCAVES.

2^o Soit MN (fig. 1) un miroir sphérique concave, et SI un rayon incident parallèle à l'axe principal XX'. Ce rayon se réfléchit suivant IR, en formant un angle RIC égal à SIC, et le rayon réfléchi coupe l'axe en un point F (1).

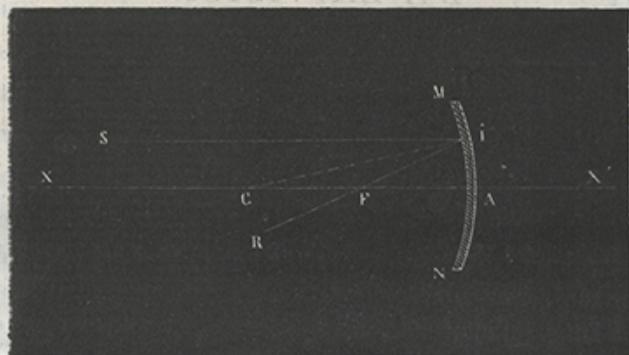


Figure 1.

Le triangle CFI, équiangle en C et en I, est isocèle; mais l'angle IFA étant supposé très-petit, FI est sensiblement égal à FA et, par conséquent, CF peut être considéré comme égal à FA.

Tout autre rayon parallèle à l'axe principal irait de même, après réflexion, couper l'axe principal en F. Ce point F, situé à égale distance de C et de A, est le *foyer principal*, et AF est la *distance focale principale*. En désignant par φ cette distance, et par R le rayon de courbure du miroir, on a :

$$\varphi = \frac{R}{2}$$

3^o Soit PI (fig. 2) un rayon incident partant d'un point P situé sur l'axe principal à une distance finie. Du centre de

(1) La plupart des figures contenues dans ce travail ont été empruntées à l'ouvrage de M. Gavarret, *Des images par réflexion et par réfraction*. Germer Baillière, Paris, 1860.

courbure C, menons une droite CB qui, prolongée par la pensée au delà de B, joue le rôle d'axe principal. Le rayon réfléchi IR coupe cette droite en un point B. Mais la distance CB est sensi-

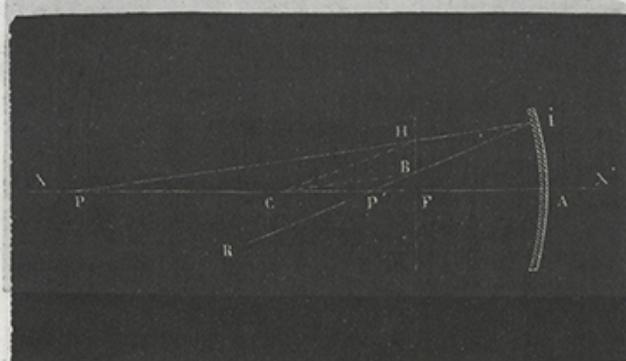


Figure 2.

blement égale à CF, si l'on suppose très-petit l'angle BCF. Par suite, B se trouve sur un plan HF qu'on appelle *plan focal*. Ce plan jouit de cette propriété que tout rayon incident PI se réfléchit suivant une droite IR qui passe par le point où le plan focal est percé par l'axe secondaire CB, mené parallèlement au rayon incident. En comparant les triangles rectangles PHF, CBF d'une part, et CHF, P'BF d'autre part, on arrive facilement à la relation

$$PF \times P'F = CF^2$$

Les points P et P' sont des foyers conjugués, c'est-à-dire que l'image du point P se faisant en P', l'image de P' se ferait en P. En désignant par l la distance PF, par l' la distance P'F et remarquant que $CF = \frac{R}{2} = \varphi$, la relation précédente devient

$$ll' = \varphi^2 \quad (1)$$

J'aurai plus tard à faire usage de cette formule élégante.

4^e Les données précédentes permettent de déterminer la position et la grandeur de l'image d'un objet placé devant un miroir concave.

Supposons qu'il s'agisse de trouver l'image S'P' de SP placé

devant le miroir IAG (fig. 3). Il suffit pour cela de déterminer les positions des images des points extrêmes P et S.

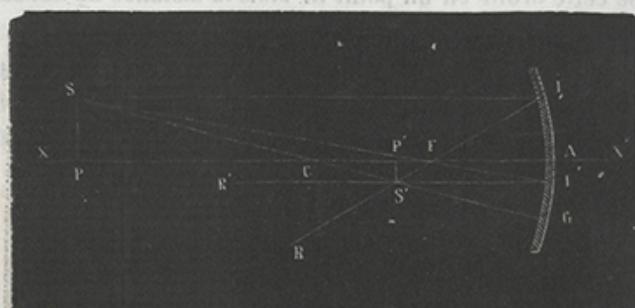


Figure 3.

L'image P' du point P situé sur l'axe principal se trouvera comme il vient d'être dit. Quant à celle de S , elle peut être déterminée avec facilité; menons un rayon SI parallèle à l'axe principal XX , ce rayon se réfléchira suivant IR en passant par le foyer principal F . Menons d'un autre côté une droite SFI passant par ce même foyer, elle doit nécessairement se réfléchir suivant IR' parallèlement à l'axe principal. Il en résulte que l'image de S doit se trouver en S' au point d'intersection des rayons réfléchis IR , IR' .

Tout point de SP donnerait une image comprise en $S'P'$. On voit que cette image est renversée et qu'elle est réelle dans le cas actuel.

La grandeur de $S'P'$ peut se déterminer facilement. En effet, AI' se confond sensiblement avec la tangente au point A et, par suite, cette droite est égale à $S'P'$. Mais les triangles AIF et SPF sont semblables et donnent :

$$AI' = S'P' = \frac{AF}{PF} = \frac{a}{l}$$

d'où

$$S'P' = SP \frac{a}{l} \quad (2)$$

Les formules (1) et (2) contiennent toute la théorie des miroirs concaves, si l'on suppose toutefois que l'ouverture de ces

miroirs soit très-petite, ou que les rayons tombent sur le miroir très-près du centre de figure, ce que j'admettrai toujours (1).

2^e MIROIRS CONVEXES.

5^e Un rayon incident SI (fig. 4) suit, après réflexion, la droite IR dont le prolongement coupe l'axe principal XX' en un point

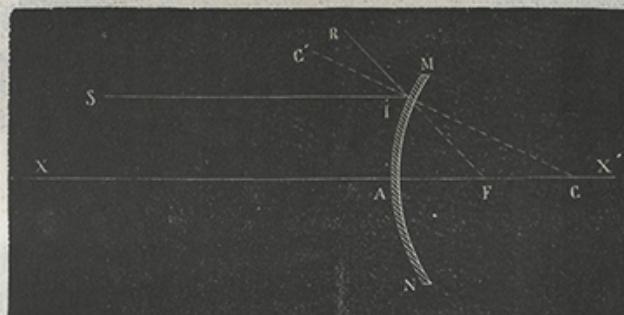


Figure 4.

F appelé *foyer principal*. Le triangle IFC est isocèle; par suite, en admettant que $FA = FI$, on a de même que plus haut

$$AF = \varphi = \frac{R}{2}$$

Le foyer P' d'un point P situé sur l'axe principal (fig. 5) s'obtiendra en menant un axe secondaire CB parallèle au rayon incident PI, puis en joignant I à B. Il est évident que CB joue dans ce cas le rôle d'axe principal par rapport au rayon incident PH et, par suite, le prolongement du rayon réfléchi IR doit couper CB en B à une distance égale à φ .

(1) En désignant par α l'angle S'CF (fig. 3), par ω un angle ICA formé par un rayon IC non tracé sur la figure, on aurait, pour fixer la position de S' sur l'axe secondaire SCG, la relation

$$\varphi - \nu = \frac{R(l - \varphi)}{R + 2(l - \varphi) (\cos \alpha \cos \omega - \sin \alpha \sin \omega)}$$

Mais $CF = CB$ si l'angle $IPF = FCB$ est très-petit, ce que j'admetts ; par suite, le plan BFH est perpendiculaire à XX' . Ce plan est le *plan focal*. Il jouit de la propriété que tout

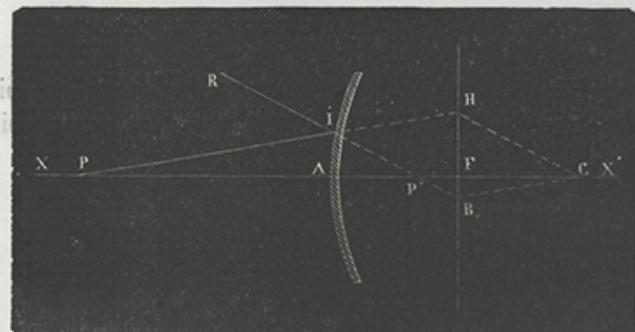


Figure 5.

rayon incident PI se réfléchit suivant une droite IR , dont le prolongement passe par le point B , où le point focal est percé par l'axe secondaire CB mené parallèlement au rayon incident.

En comparant les triangles rectangles PHF , CBF et CHF , PBF , et désignant PF par l et $P'F$ par l' , on arrive à la relation déjà trouvée antérieurement pour les miroirs concaves

$$ll' = \varphi^2$$

Enfin, si l'on veut obtenir l'image $S'P'$ de l'objet SP (fig. 6),

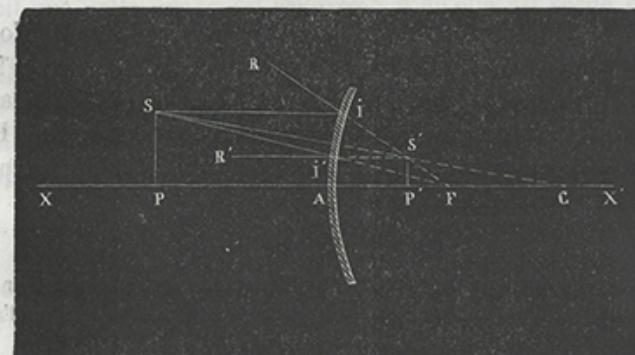


Figure 6.

on mènera un rayon SI parallèle à l'axe principal XX' ; le prolongement

gement IF du rayon réfléchi RF contiendra l'image de S . On mènera ensuite la droite $S'F$; il est évident qu'un rayon dirigé suivant $S'F$ se réfléchira parallèlement à l'axe XX' suivant la droite IS' dont le prolongement coupe la ligne RF au point S' . Ce point étant le lieu d'intersection des prolongements des rayons réfléchis IR , IS' est l'image du point S . On abaissera ensuite la perpendiculaire $S'P'$ qui sera l'image de SP .

On voit que cette image est droite et moindre que l'objet.

En admettant que les arcs $I'A$ et IA se confondent avec leurs sinus et remarquant que l'on a alors $I'A = S'P'$ et $IA = SP$, on arrive, par la comparaison des triangles rectangles FSP , $F'I'A$ et FIA , $F'S'P'$, à la relation déjà connue

$$S'P' = SP \frac{q}{l} = SP \frac{q}{l}$$

Telles sont les formules simples et élégantes qui établissent les relations entre la position et la grandeur d'un objet placé devant un miroir sphérique et la position et la grandeur de son image.

En discutant ces formules dans lesquelles l et l' sont comptées positivement à gauche de F et négativement à droite de ce même point, on verrait que les images données par les miroirs concaves grandissent à mesure que l'objet se rapproche, qu'elles sont toujours réelles tant que l'objet n'est pas au delà de F , qu'elles deviennent virtuelles et amplifiées lorsque l'objet se trouve entre F et le miroir. On verrait de même que les images données par les miroirs convexes grandissent à mesure que l'objet se rapproche, mais qu'elles restent toujours virtuelles.

Enfin, la construction même des images fait voir que celles des miroirs convexes sont toujours droites, tandis que celles des miroirs concaves ne sont droites que lorsqu'elles sont virtuelles.

7° Quand un rayon lumineux OI (fig. 7) passe d'un milieu moins réfringent O dans un milieu plus réfringent O' , ce noyau

ne suit pas sa direction primitive OIO' , mais il se rapproche de la normale PIP' . L'angle d'incidence PIO est plus grand que l'angle de réfraction $P'IR$.

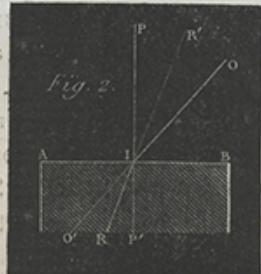


Figure 7.

Lois. — 1° *Les angles d'incidence et de réfraction sont dans un même plan*; 2° *le rapport de leurs sinus est constant pour deux mêmes milieux*. Ce rapport n s'appelle indice de réfraction.

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

Ptolémée et Alhazen connurent la première loi; c'est Descartes qui a formulé la seconde. Toutefois, un peu avant Descartes, le géomètre hollandais Willebrod Snellius l'avait énoncée d'une autre façon.

Lorsque les angles sont petits, on peut remplacer leurs arcs par leur sinus. Kepler avait déjà reconnu l'exactitude de cette proposition. Il dit en effet : « *Crystalli refractiones usque ad tricesimum inclinationis sunt ad sensum proportionales inclinationibus* (1). » On a donc pour des angles suffisamment petits

$$i = nr$$

8° Lorsqu'un milieu à faces parallèles est traversé par des rayons lumineux, les rayons émergents sont parallèles aux

(1) Dioptrique de Kepler, axiome VII.

rayons incidents, mais ils ne sont pas sur le prolongement des premiers.

C'est ce qu'indique la figure 8, où l'on voit un rayon émergent HG parallèle au rayon incident EF. Mais ce rayon s'est

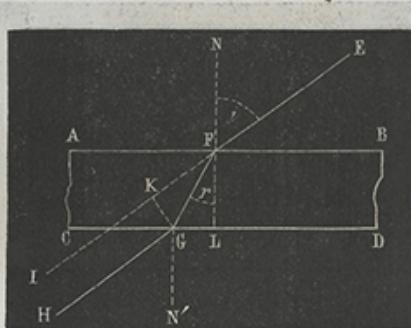


Figure 8.

dévié d'une quantité GK de la direction du rayon incident. La déviation est facile à déterminer. En effet, on a

$$GK = GF \sin (i - r) \quad \text{et} \quad GF = \frac{FL}{\cos r}$$

d'où

$$GK = \frac{FL \sin (i - r)}{\cos r}$$

ou d'une manière générale, en désignant par d la déviation, par e l'épaisseur du milieu

$$d = \frac{e \sin (i - r)}{\cos r}$$

relation qui indique que la déviation est proportionnelle à l'épaisseur.

9^o La propriété qu'ont les rayons lumineux de traverser les lames à faces parallèles, en restant à leur émergence parallèles à leur direction primitive, permet de calculer l'indice relatif de deux milieux.

Soient B et C deux de ces milieux placés dans l'air A. Newton a démontré que si n est l'indice de réfraction obtenu lorsque la

lumière passe de A en B, que si n' est l'indice obtenu lorsque la lumière passe de A en C, le rapport $\frac{n'}{n}$ est l'indice de réfraction moyen de A. Il faudrait pour ce démontrer DH long

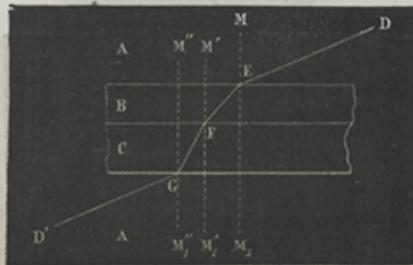


Figure 9.

tion de G par rapport à B, c'est-à-dire l'indice de la réfraction que la lumière éprouve en passant de B en G.

En effet on a $n \sin FEM = n' \sin FEM'$ et $n \sin D'GM'' = n' \sin FGM''$

Mais l'angle PEM est égal à l'angle D'GM'' ; on a donc

$$\frac{n \sin FEM}{n} = \frac{n' \sin FEM'}{n} = \frac{\sin M'FE}{\sin FEM''} = \frac{\sin D'GM''}{\sin FGM''}$$

J'aurai à rappeler cette proposition au sujet de l'indice relatif du cristallin et de l'humeur aqueuse.

Si la lumière passe du vide dans un milieu quelconque, l'indice obtenu en divisant le sinus de l'angle d'incidence par le sinus de l'angle de réfraction, est l'*indice principal* de ce milieu. L'air réfractant très-peu la lumière, je considérerai les indices déterminés dans l'air comme étant des indices principaux.

Des phénomènes physiques de la vision - [page 14](#) sur 90

Marche de la lumière passant d'un milieu moins réfringent dans un milieu plus réfringent limité par une surface convexe sphérique.

Je considérerai divers cas.

10° Les rayons incidents sont parallèles à l'axe principal avant leur incidence.

Soit (fig. 10) MN une surface convexe sphérique dont le centre est en C. Soit, de plus, A le centre de figure de cette surface; la droite XACX' est l'axe principal.

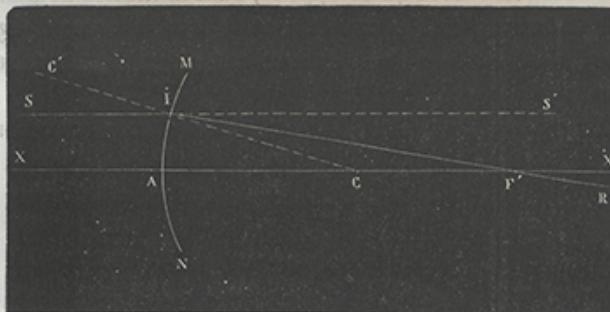


Figure 10.

Un rayon incident SI parallèle à l'axe principal, se réfracte suivant IF', et va rencontrer l'axe XX' en un point F' qu'il importe de déterminer.

Pour abréger, je désignerai par i l'angle SIC' , par r l'angle CIF' , par γ l'angle ACF et par β l'angle $CF'I$.

Il vient (7)

$$i = nr \quad (1)$$

$$i = \gamma \quad (2)$$

$$\gamma = r + \beta \quad (3)$$

Multippliant (3) par n et ajoutant à (2), il vient

$$n\gamma = nr + n\beta$$

$$n\gamma + 1 = nr + n\beta + \gamma$$

$$(n - 1)\gamma = n\beta \quad (4)$$

Mais, comme je suppose toujours les angles très-petits, les arcs de cercle décrits, soit de C avec CA comme rayon, soit de F' avec AF' pour rayon, sont très-peu différents de AI. Les angles γ et β ont donc pour mesure

$$\frac{AI}{CA}, \quad \frac{AI}{AF}$$

de sorte que (4) peut s'écrire

$$\frac{(n-1) \Delta T}{CA} = \frac{nAT}{AF}$$

La distance AF' est ce qu'on appelle, dans la théorie de Gauss, *seconde distance focale principale*, et le point F' *second foyer principal*. C'est en ce point que vont concourir, après réfraction, les rayons parallèles à l'axe principal XX' (1).

En désignant CA par R et AF' par f' , la relation précédente devient

$$f' = \frac{nR}{n-1} [1]$$

11° Les rayons réfractés sont parallèles à l'axe principal.
Soit (fig. 11) Si un rayon incident tel qu'après s'être réfracté

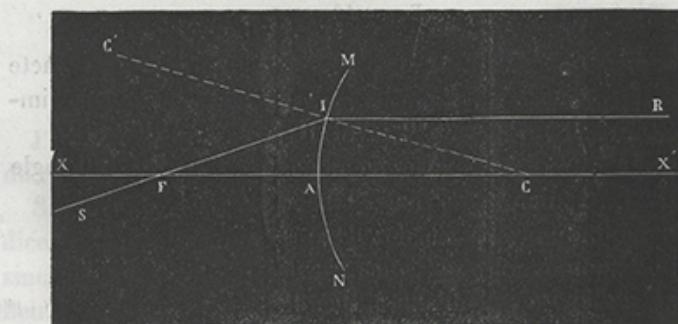


Figure 44.

dans le milieu X' , il suivra la direction IR parallèle à l'axe principal XX' .

(4) Dans la théorie classique, P' est le seul foyer principal que l'on considère.

En désignant par i l'angle SIC' , par r l'angle CIR , par α l'angle IFA , par γ l'angle ICA , il vient

$$i = nr \quad (1)$$

$$i = \alpha + \varphi \quad (2)$$

$$\gamma = r \quad (3)$$

Multippliant (3) par n et ajoutant à (2), on a

$$\frac{(n-1)\gamma}{AC} = n\alpha$$

ou bien en remplaçant AC par R et AF par f ,

$$f = \frac{nR}{n-1} \quad [2]$$

La distance AF est la *première distance focale principale*, et le point F est le *premier foyer principal*. Tous les rayons divergents partent de F , suivent dans le milieu le plus réfringent des directions parallèles à l'axe principal.

On a donc, en résumé :

Première distance focale principale,

$$f = \frac{n-1}{r}$$

Deuxième distance focale principale,

$$f' = \frac{nr}{n-1}$$

Et, par suite, $FC = f' = \frac{r}{n-1} + r = \frac{nr}{n-1}$, $F'C = f = \frac{nr}{n-1} - r = \frac{r}{n-1}$.

Il importe aussi de considérer les distances du foyer au centre de courbure. Ces distances sont :

$$FC = f' = \frac{r}{n-1} + r = \frac{nr}{n-1}$$

$$F'C = f = \frac{nr}{n-1} - r = \frac{r}{n-1}$$

12^e *Plans focaux.* — On appelle ainsi des plans menés per-

pendiculairement au plan des rayons.

pendiculairement à l'axe par les foyers principaux F, F' (fig. 12). Le plan TT' est le *premier plan focal*, le plan $T'T'$ est le *second plan focal*.

Ces plans jouissent de cette propriété que les rayons lumineux partant d'un de leurs points, sont réfractés parallèlement à l'axe. En d'autres termes, ce qui est vrai pour les foyers principaux est vrai pour les différents points des plans principaux, pourvu toutefois que ces points soient peu éloignés de l'axe principal.

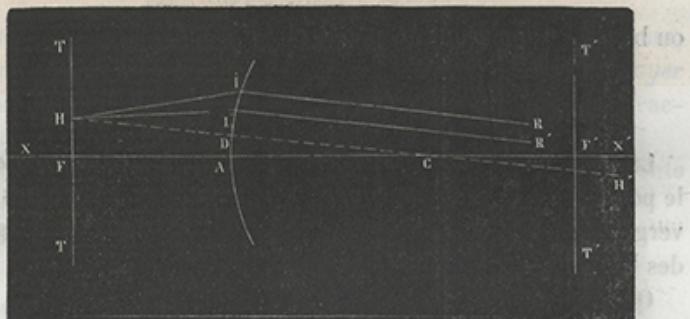


Figure 12.

En effet, soit H un point de ce plan. Menons par ce point la ligne de direction (axe secondaire, HC), il est évident que cette ligne jouera le rôle d'axe principal, et que par suite les rayons incidents HI, HI' seront réfractés suivant IR, IR' parallèles à la ligne HC .

Si le point H était très-éloigné de F , on n'aurait plus sensiblement $HD = FA$, et, par suite, le point H ne se trouverait pas sur le plan focal.

13° *Foyer d'un point lumineux placé sur l'axe principal.*

Soit P la position d'un point lumineux sur l'axe principal XX' (fig. 13). Il s'agit de trouver son foyer P' .

Menons une droite PI qui coupe le plan focal en H ; par ce point H menons la ligne de direction HC , le rayon réfracté suivra nécessairement une direction IBP' parallèle à HC , et P' sera déterminé.

On pourrait également déterminer P' en se fondant sur les

propriétés du second plan principal. Pour cela, on mènerait CB parallèle à PI , et l'on tracerait la ligne IB , qui, étant prolongée, couperait l'axe en P' .

Les points P et P' sont dits foyers conjugués. En effet, des

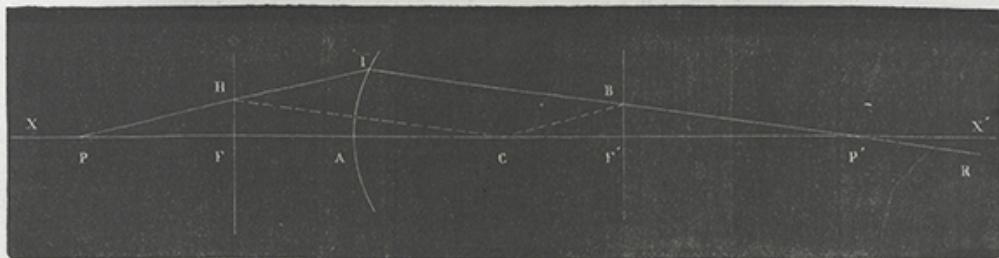


Figure 13.

rayons partant de P vont en P' après leur réfraction, et réci-
proquement ceux de P' vont en P . Il importe de déterminer
leurs distances aux plans focaux.

Les triangles semblables PHF , CBF' donnent

$$\frac{PF}{P'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

De même, les triangles CHF , $P'BF'$ donnent

$$\frac{CF}{P'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

D'où

$$PF \times P'F' = CF \times CF'$$

Ou bien, en désignant PF par l , $P'F'$ par l' , et remarquant
que

$$CF = f, \quad CF' = f'$$

on a

$$l \times l' = f \times f' \quad [3]$$

Telle est la formule élégante qui établit une relation entre les
distances d'un objet et de son image aux foyers principaux.

14° Détermination et grandeur de l'image d'un objet.

Soit (fig. 14) SP un objet placé devant le milieu réfringent
limité par la calotte sphérique II' . Il suffit évidemment, pour

trouver l'image $S'P'$ de cet objet, de déterminer les images de ces points extrêmes.

Du point S , menons la ligne SI parallèle à l'axe principal XX' , le rayon réfracté $IF'R$, passant nécessairement par le se-

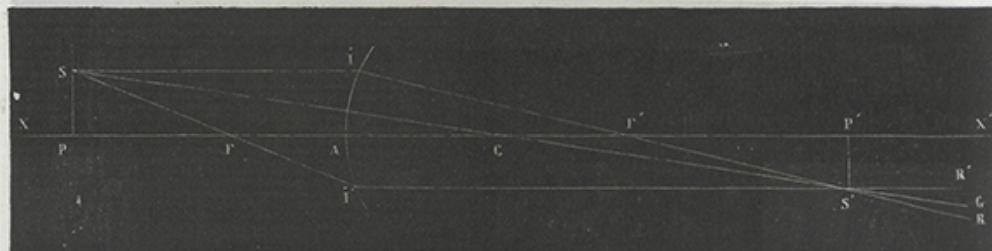


Figure 44.

cond foyer principal F' , contiendra quelque part l'image de S . De même, étant tracée la droite SI' , assujettie à passer par le premier foyer principal F , le rayon réfracté correspondant $I'S'$ sera parallèle à l'axe. Il en résulte que l'image de S se trouvera au point d'intersection S' des deux rayons réfractés. — L'image P' de P se déterminera géométriquement comme dans la figure 13, ou numériquement à l'aide de la relation

$$w = ff'.$$

Quant à la grandeur de l'image $S'P'$, elle est aussi facile à déterminer.

Si l'on considère l'arc AI' comme se confondant avec sa tangente au point A , il vient, à cause de la similitude des triangles $SPF, I'AF$,

$$\frac{SP}{PF} = \frac{AI'}{AF}$$

Mais

$$AI' = S'P' \text{ et } AF = f \text{ et } PF = l;$$

On a donc

$$S'P' = \frac{f}{l}$$

Marche de la lumière passant d'un milieu plus réfringent, limité par une surface sphérique convexe, dans un milieu moins réfringent.

15° Soit (fig. 15) SM un rayon déjà convergent avant son émergence du milieu plus réfringent situé à gauche de MA ; il est clair que le point d'intersection P' du rayon réfracté OP sera plus rapproché que le point P où viendrait passer le rayon SM

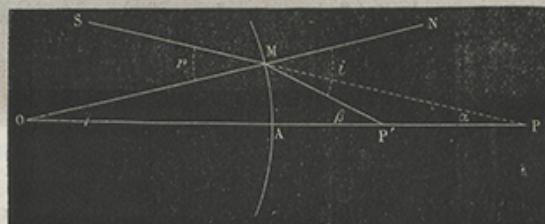


Figure 15.

prolongé. Pour calculer la distance P'A, on a

$$i = nr \quad i = \gamma + \epsilon \quad \gamma = r - \alpha$$

$$(n - 1)\gamma = - n\alpha + \epsilon$$

d'où

$$\frac{n - 1}{R} = - \frac{n}{AP} + \frac{1}{AP'}$$

ou bien, en faisant $AP = p$ et $AP' = p'$,

$$\frac{n - 1}{R} = - \frac{n}{p} + \frac{1}{p'}$$

Si $p = \infty$, la relation devient

$$\frac{n - 1}{R} = \frac{1}{p'}$$

mais, dans ce cas, p' est égal à la seconde distance focale principale.

On a donc

$$f' = \frac{R}{n - 1}$$

Telle est la distance AF' (fig. 16). AF est la *première distance focale principale*. On la détermine en faisant $p' \sim \infty$, d'où

$$p = f' = - \frac{nR}{n-1}$$

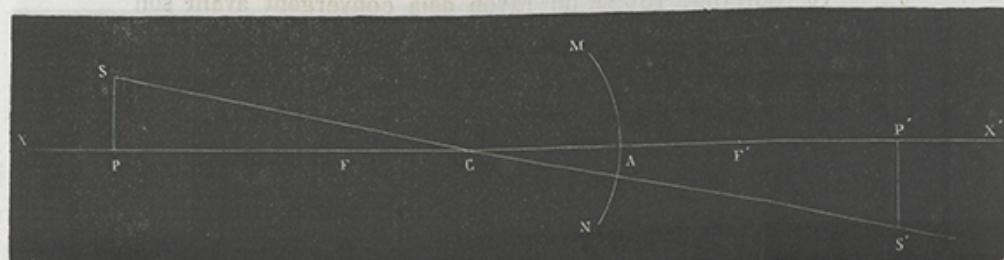


Figure 16.

Mais, comme dans la théorie de Gauss, la distance focale AF est positive, on l'écrit avec le signe positif

$$f = \frac{nR}{n-1}$$

En résumé, on a donc :

Première distance focale principale,

$$AF = f = \frac{nR}{n-1}$$

Deuxième distance focale principale,

$$AF' = f' = \frac{R}{n-1}$$

Enfin,

$$\frac{f'}{f} = \frac{1}{n}$$

On voit que ces résultats sont inverses de ceux qui ont été trouvés plus haut (11).

En suivant la même méthode que précédemment (43 et 44), on arriverait à la relation

$$PF \times P'P' = ff' \quad \text{ou} \quad w = ff',$$

et l'on trouverait de nouveau pour déterminer la grandeur de l'image $S'P'$, la formule

$$S'P' = SP \frac{f}{l}.$$

Marche de la lumière dans les lentilles.

16° Les lentilles sont des milieux réfringents limités par deux surfaces dont l'une au moins est courbe.

On distingue les lentilles convergentes et les lentilles divergentes.

Les premières sont plus épaisses au milieu que sur les bords; les secondes sont, au contraire, moins épaisses au milieu que sur les bords.

Je ne m'occuperai ici que de la lentille biconvexe, attendu que le cristallin appartient à cette variété. Il est vrai que les lentilles biconcaves sont employées pour corriger la myopie, leur étude viendra s'il y a lieu au sujet de cette anomalie de la vision; quant aux verres cylindriques, j'en dirai un mot à propos de l'astigmatisme.

17° Soit (fig. 17) une lentille biconvexe MN. C'est le centre

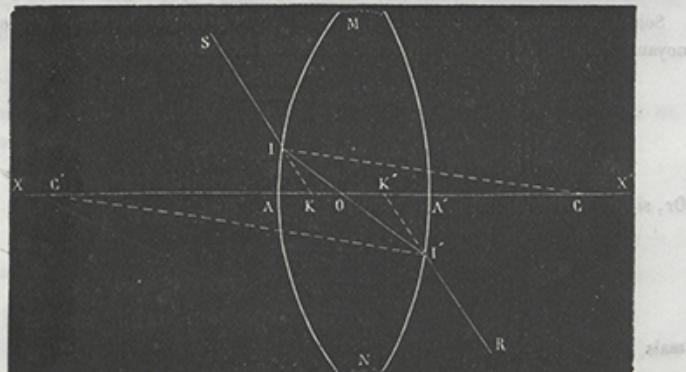


Figure 17.

de courbure de la face AM, C', le centre de courbure de la face A'N. La droite XX', passant par les centres de courbure et par les centres de figure A et A', est l'axe principal de la lentille.

Sur cet axe se trouve un point O appelé centre optique, et qui jouit de cette propriété que toute droite II' qui le contient correspond à des rayons incident SI et émergent I' R, lesquels sont parallèles.

Pour le déterminer, menons les rayons parallèles CI et C'I' et joignons I à I', on a ainsi deux triangles semblables IO C, I'O'C. Or, par la comparaison de ces triangles, on arrive facilement à la relation

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{CA}{C'A'} = \frac{r}{r'},$$

relation qui permet de déterminer le point O quand on connaît l'épaisseur et les rayons de courbure de la lentille (1).

(1) Le centre optique O peut encore se déterminer en fonctions des *distances focales* de la lentille.

Soit a le premier foyer principal de la première face de la lentille dont le rayon de courbure est r ; soit a' le second foyer principal de cette même face.

En représentant par f et par f' les distances focales Aa , Aa' , on a (n° 11):

$$Aa = f = \frac{r}{n-1} \quad (1)$$

$$Aa' = f' = \frac{nr}{n-1} \quad (2)$$

Soient de même bb' le premier et le second foyer principal de la face A' , dont le noyau de courbure est r' , on a pour les distances focales $A'b$, $A'b'$:

$$A'b = f'_1 = \frac{nr'}{n-1} \quad (3)$$

$$A'b' = f'_2 = \frac{r'}{n-1} \quad (4)$$

Or, si l'on divise (2) par (3), il vient

$$\frac{f'_1}{f'_2} = \frac{\frac{nr}{n-1}}{\frac{nr'}{n-1}} = \frac{r}{r'}$$

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{r}{r'}$$

donc

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{f'}{f}$$

Enfin, si l'on remarque que l'épaisseur e de la lentille est égale à $AO + A'O$,

Le rhumatisme spinal se manifeste par des symptômes très-variables. Aussi nous croyons-nous obligé d'établir une distinction entre ces di-

Les éléments plans situés en I et I' étant nécessairement parallèles comme perpendiculaires à CI et C'I', il en résulte qu'un rayon CI se réfractant suivant IOI' doit émerger suivant I'R parallèle à SI. Quant à la distance des deux parallèles, on la déterminerait facilement d'après la formule trouvée plus haut (8).

17° Dans la théorie de Gauss, on considère, outre le centre optique, deux autres points KK', situés aux intersections de l'axe principal par les rayons SI et RI' prolongés. Ce sont les *points nodaux*. K est le premier, K' le second point nodal.

On voit que K est l'image de O vu suivant SI par la face AM, et que K' est l'image de O vu suivant I'R par la face A'N. *Tout rayon incident, dont le prolongement passe par K, émerge suivant une droite parallèle à ce rayon et dont le prolongement passe par K'.*

Les droites SIK et K'I'R sont des *lignes de direction*. Elles jouent le même rôle que les axes secondaires dans la théorie classique des lentilles.

Dans le cas de lentilles placées dans l'air, ou dans un milieu homogène, les points nodaux K et K' se confondent avec ceux qu'on appelle *points principaux*.

Les plans DK, D'K' (fig. 18) sont les *plans principaux de la lentille*.

on pourra faire entrer cette valeur dans le calcul, et trouver le centre optique en fonction des distances focales et de l'épaisseur de la lentille.

En effet, dans

$$\frac{AO}{A'O} = \frac{f'}{f}$$

remplaçant A'O par sa valeur $e - AO$, il vient

$$\frac{AO}{e - AO} = \frac{f'}{f}$$

d'où

$$AO = \frac{ef'}{f + f'}$$

trouverait également

$$A'O = \frac{ef}{f + f'}$$

RABUTEAU.

b

De même que K et K' sont les images de O , de même les droites DK , $D'K'$ sont les images de la droite SO .

Soit un rayon SI partant de S suivant une direction telle qu'à son émergence il se confonde avec la droite $L'IL$ parallèle à l'axe principal XX' . Ce rayon prolongé à droite irait couper l'axe au point α' , second foyer principal de la face AV .

Soit un autre rayon $S V$ parallèle à l'axe principal, ce rayon,

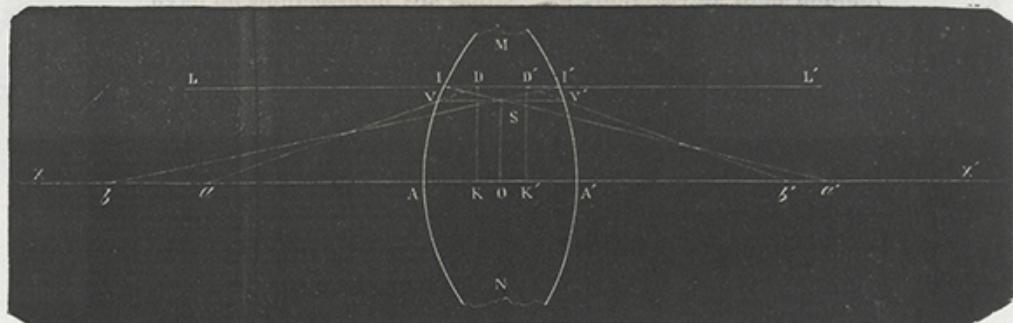


Figure 48.

après son émergence en V , coupe l'axe en un point α qui est le premier foyer principal de la face AV . Il en résulte donc que pour l'œil placé en $L\alpha$, le point S , étant vu suivant IL et suivant $V\alpha$, le point D , prolongement de ces deux dernières droites, est l'image du point S vu par la face AV . La droite DK est donc l'image de la droite SO .

On prouverait de même que la droite $D'K'$ est l'image de SO vue par la face $A'V'$.

«Tous les rayons incidents qui, prolongés, passent par le point D de la perpendiculaire DK , sont réfractés par la face A , de manière à passer par le point S , rencontrent la face A' comme s'ils émanaient de S , et émergent de la lentille suivant des lignes qui passent par le point D' de la perpendiculaire $D'K'$. Les prolongements de ces rayons incidents et des rayons émergents correspondants rencontrent donc les perpendiculaires DK , $D'K'$ du même côté et à égale distance de l'axe principal. Cette dernière relation existe évidemment entre deux points quelconques pris sur les perpendiculaires DK , $D'K'$ du même côté et à

la même distance de l'axe principal. En raison de la parfaite symétrie des surfaces sphériques, les plans perpendiculaires à l'axe principal menés par K et K' sont nécessairement percés du même côté et à la même distance de l'axe principal par les prolongements d'un rayon incident quelconque et du rayon émergent correspondant » (4).

On voit qu'il importe de savoir déterminer la position des points K et K'.

En admettant, comme toujours, que les angles en b , a , b' , a' , sont très-petits, les lignes AI, KD, K'D', A'I' peuvent être considérées comme des droites égales et parallèles. AI et A'I' se confondent avec les sinus des arcs a' et b . De même $AV = SO = A'V'$.

Cela posé, considérons les triangles semblables DKa , VAb ; il vient

$$\frac{DK}{VA} = \frac{aK}{aA}$$

remarquant que $aA = f$ et que $aK = aA + AK$, on a :

$$\frac{AI}{SO} = \frac{f + AK}{f}$$

D'autre part, les triangles rectangles semblables $a'AI$, $a'OS$ donnent :

$$\frac{AI}{SO} = \frac{Aa'}{0a'} = \frac{Aa'}{Aa' - AO} = \frac{f'}{f' - AO}$$

Les premiers membres de ces deux équations sont identiques, les seconds membres sont donc égaux et

$$\frac{f + AK}{f} = \frac{f'}{f' - AO}$$

remplaçant AO par sa valeur trouvée à la page 25, il vient

$$\frac{f + AK}{f} = \frac{f'}{f' - \frac{ef'}{f' + f}}$$

d'où

$$AK = \frac{ef'}{f' + f - e}$$

(4) Gavarret, *loc. cit.*, p. 70.

On trouverait de même pour $A'K'$

$$A'K' = \frac{ef'}{f' + f_e - e}$$

18° *Foyers principaux.* — Soit F le point de concours des rayons parallèles à l'axe XX' (fig. 49) avant leur entrée dans la lentille. Ce point est le *second foyer principal*, et $K'F'$ est la *seconde distance focale*.

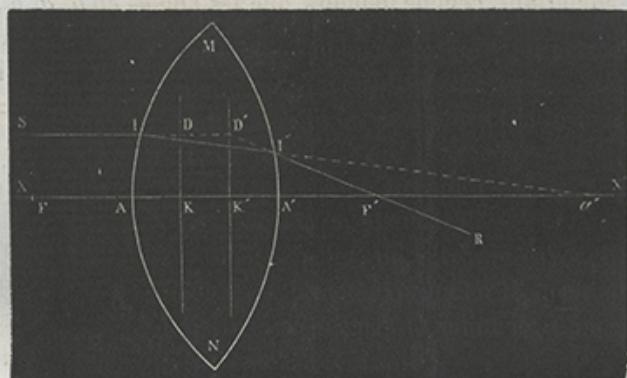


Figure 49.

Il est facile de déterminer la position de F' et la distance focale $K'F'$.

En effet, prolongeons en D' le rayon SI , parallèle à l'axe : ce point D' situé sur le plan principal $K'D'$ appartient nécessairement au rayon réfracté, d'après ce qui a été dit plus haut. D'un autre côté, le point I' , où la face A' est percée par Ia' , appartient également au rayon réfraté. La droite $D'R$ qui passe par I' est donc ce rayon lui-même qui, par son intersection avec l'axe principal XX' , détermine le foyer F' .

Quant à la distance focale $K'F'$, on peut le déterminer à l'aide : 1° des triangles semblables AIa' , $A'I'a'$; 2° des triangles également semblables $D'K'F'$ et $I'A'F'$. On trouve ainsi, en remplaçant Aa' par f et $A'K'$ par sa valeur $ef = \frac{ef'}{f' + f_e - e}$

$$K'F' = \frac{ff'}{f' + f_e - e} = \varphi'.$$

On trouverait pour KF la valeur $\frac{ff'}{f+f'-e} = \varphi$.

Le dénominateur est le même ; mais on sait que $f'f = ff$, donc on a $\varphi = \varphi$; c'est-à-dire que les deux distances focales sont égales.

Les plans menés par les foyers principaux sont les plans focaux.

19° — *Détermination de l'image d'un point ou d'un objet placé devant une lentille biconvexe.* — A l'aide de ces données, un peu longues il est vrai, nous sommes en possession d'une méthode simple et élégante qui permet de trouver l'image d'un point ou d'un objet, et une formule générale qui établisse des relations entre les positions et la grandeur des images et celles de leurs objets.

Supposons d'abord qu'il s'agisse de trouver l'image d'un point H situé sur un plan focal.

Par ce point, on mène le rayon HI parallèle à XX' (fig. 20), et on le prolonge jusqu'en D' , puis on trace la droite $D'R$, assujettie à passer par le point F' . L'image de H se trouve quelque part sur cette droite.

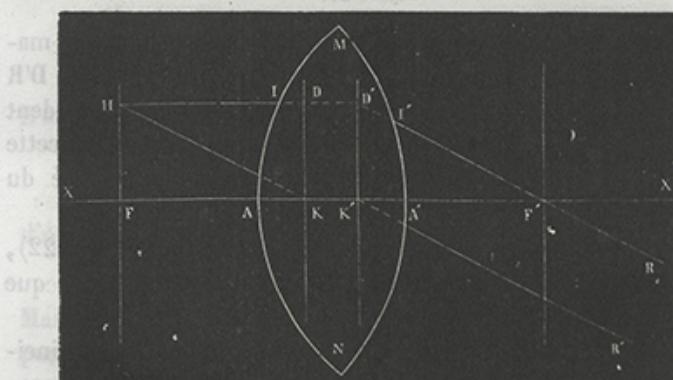


Figure 20. — L'objectif et l'image de l'object.

Par ce même point, on mène la ligne de direction HK ; l'image de HK est de même quelque part sur la seconde ligne de direction $K'R'$ parallèle à la première.

Mais $HF = H'K'$, le triangle rectangle $HFK = H'F'K' = D'K'F'$.

Donc, $D'R$ et $K'D'$ sont parallèles, et l'image de H se trouve à l'infini.

Supposons, en second lieu, qu'il s'agisse de trouver l'image d'un point P qui envoie des rayons divergents sur la lentille MN (fig. 21).

On mène le plan focal FH et les plans principaux KD , $K'D'$, puis on trace un rayon incident PI qui coupe le plan focal en H . On prolonge en D la droite HI , et par D on mène une parallèle à l'axe principal, laquelle coupe le second plan focal en D' . Ce point D' appartient au rayon réfracté.

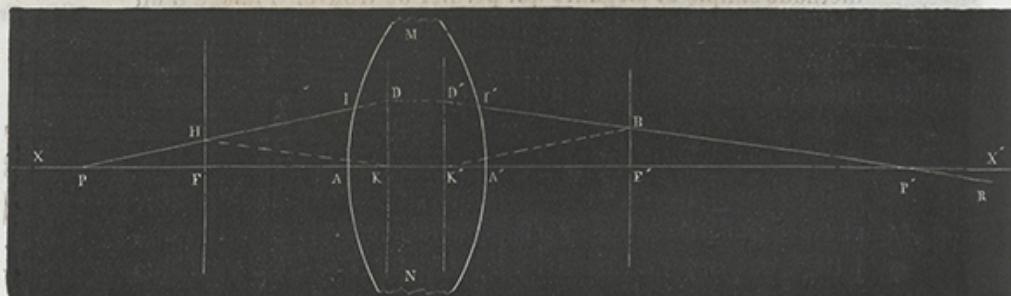


Figure 21.

Pour trouver cette direction, on peut opérer de deux manières : 1^o mener la ligne HK , et tracer ensuite la droite $D'R$ parallèle à HK ; 2^o mener $K'B$ parallèlement au rayon incident pour PI et, par le point B , tracer la droite $D'BR$. Le point P' , où cette droite coupe l'axe principal XX' , est le foyer conjugué du point P .

Enfin cherchons à construire l'image de l'objet SP (fig. 22), menons les lignes de direction SK' et $K'S$, il est certain que l'image de S se trouve quelque part sur $K'S'$.

Traçons ensuite le rayon incident SI parallèle à l'axe principal XX' et prolongeons ce rayon jusqu'en D' . Le point D' appartient au rayon réfracté $D'R$ qui, provenant du rayon parallèle à l'axe principal, passe nécessairement par le foyer principal F' . L'image de S se trouve quelque part sur DR' . Or, elle se trouve également sur la direction $K'R$; par suite, elle est au point d'intersection de ces deux lignes.

On arriverait au même résultat en traçant le rayon incident $SI'B$ assujetti à passer par le premier foyer principal F ; le rayon

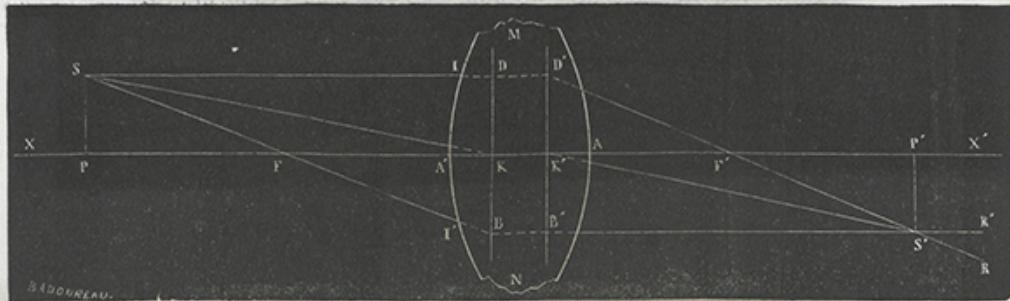


Figure 22.

réfracté correspondant BR' parallèle à l'axe principal déterminerait le point S' .

Quant à l'image P' de P , nous savons déjà la trouver; mais il est plus simple d'abaisser la perpendiculaire $S'P'$.

On voit que l'image $S'P'$ est renversée et réelle.

20° *Formule des lentilles.* — Les triangles semblables PHF , $K'BF'$ (fig. 24) donnent

$$\frac{PF}{K'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

D'autre part, les triangles KHF , $P'F'B$ donnent

$$\frac{KF}{P'F'} = \frac{HF}{BF'}$$

d'où

$$PF \times P'F' = KF \times K'F'.$$

Mais comme $KF = K'F' = \varphi$, si l'on désigne, pour abréger, PF par l et $P'F'$ par l' , il vient finalement

$$l' = \varphi^2.$$

Cette formule peut se discuter de la même manière que la formule classique

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{p'} = \frac{1}{f} \quad (1).$$

(1) *Formule classique des lentilles.* : Soit (fig. 23) PM un rayon incident pé-

On peut d'ailleurs passer facilement de la première à cette dernière en faisant $f = \varphi\alpha$, $l = p - \varphi$ et $l' = p' - \varphi$.

La discussion, appliquée à l'une ou l'autre de ces formules,

nétrant de l'air dans un milieu plus réfringent limité par la surface convexe MA de rayon R. On a :

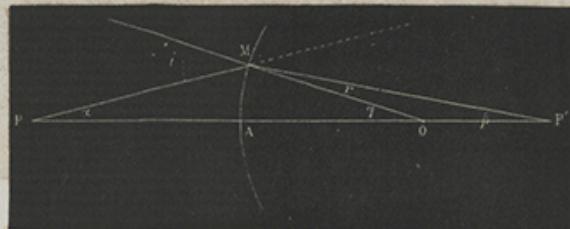


Figure 23.

$$i = nr$$

$$i = z + \gamma$$

$$\gamma = r + \beta$$

Multipliant la troisième équation par n et l'ajoutant à la seconde, il vient

$$(n - 1)\gamma = \alpha + n^2 \beta$$

d'où

$$\frac{n - 1}{R} = \frac{1}{p} + \frac{n}{p'} \quad [1]$$

en divisant par p la distance PA et par p' la distance AP'.

Telle est la relation qui donne le foyer conjugué P' d'un point P placé devant un milieu plus réfringent, limité par une surface convexe.

Supposons maintenant que le rayon divergent PM , rendu convergent puisqu'il va couper l'axe en P' , émerge du milieu réfringent dans l'air par une surface convexe

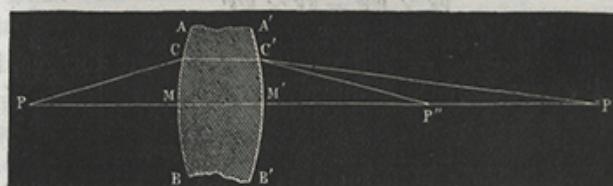


Figure 24.

$A'M'$ (fig. 24) de rayon R. Ce rayon est rendu encore plus convergent; au lieu d'aller couper l'axe en P' , il le coupe en un point P'' donné par une relation déjà

équation n° 1 (fig. 23). Noter : relation très importante dans l'optique.

indique que les images sont réelles, tant que le point ou l'objet lumineux est à une distance de la lentille plus grande que la distance focale, et que, dans le cas contraire, l'image est virtuelle.

Dans la formule $ll' = \varphi^2$, l et l' sont positives à gauche des plans focaux, négatives à droite.

Quant à la grandeur de $S'P'$, elle se détermine facilement à l'aide des triangles semblables SPF , KBF .

On a, en effet,

$$\frac{SP}{PF} = \frac{KB}{KF}$$

Mais

$$KB = S'P', \quad PF = l, \quad KF = \varphi;$$

On a donc

$$\frac{SP}{\varphi} = \frac{S'P'}{l}$$

d'où

$$S'P' = SP \frac{\varphi}{l}$$

connue (15). Désignons par p' la distance $M'P'$, par p'' la distance $M'P''$, nous aurons pour déterminer p''

$$\frac{n-1}{R'} = -\frac{n}{p'} + \frac{1}{p''} \quad [2]$$

Ajoutons [1] à [2], le terme commun $\frac{n}{p''}$ disparaît et l'on a la relation

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p''} = \frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{R'} = \frac{1}{f} \quad [3]$$

qui est la formule générale des lentilles et qu'on peut discuter comme la formule

$$ll' = \varphi^2.$$

J'ai supposé que la lentille était assez petite pour qu'il fût permis d'en négliger l'épaisseur. Si l'on veut tenir compte de l'épaisseur $e = MM'$ de la lentille (fig. 24), il faut remplacer donc [2] p' , qu'on a supposé égal à MP' , par sa véritable valeur $M'P' = p' - e$.

La relation [2] devient alors

$$\frac{n-1}{R'} = -\frac{n}{p' - e} + \frac{1}{p''} \quad [4]$$

et [3] prend la forme

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p''} = \frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{R'} + \frac{n}{p' - e} - \frac{n}{p'} = \frac{1}{f} + \frac{ne}{p'(p' - e)}$$

J'aurai à rappeler l'équation [4] au sujet de la marche des rayons dans l'œil.

On voit que la grandeur de $S'P'$ est en raison inverse de l .

Si, par exemple, dans la figure 25, SS' se rapprochait de la lentille, TT' grandirait; et réciproquement, si SS' s'éloignait, TT' diminuerait. Enfin, si SS' était placé entre F et la lentille, l'image qui était renversée deviendrait droite, parce que les

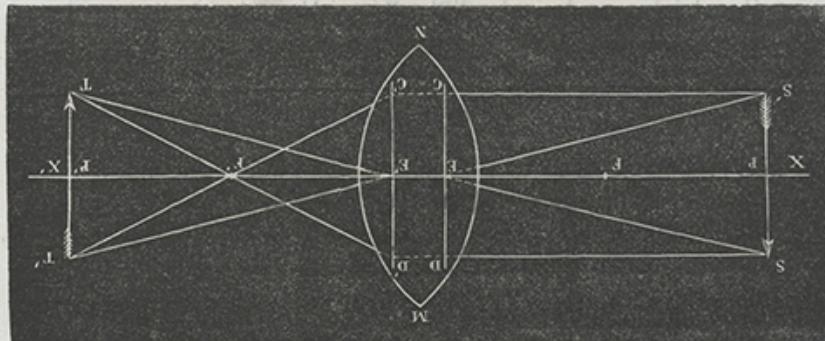


Figure 25.

rayons réfractés $D'T$, $C'T'$, ne pouvant plus couper les lignes de direction en arrière de la lentille, couperaient nécessairement leurs prolongements en avant, si elles étaient elles-mêmes prolongées. L'image serait de plus amplifiée et virtuelle. En un mot, on aurait une loupe appliquée à l'objet. C'est d'ailleurs ce qu'indiquent les formules.

II
DIOPTRIQUE DE L'ŒIL.

II

DIOPTRIQUE DE L'ŒIL.

La *vision*, ai-je dit, est cette fonction qui nous met en relation avec le monde extérieur, en nous faisant connaître la position, la forme, la couleur et plusieurs autres propriétés des corps. Elle résulte d'impressions produites par les rayons lumineux qui vont ébranler la rétine suivant des lois géométriques déterminées. Pour qu'il y ait en réalité vision, une impression quelconque ne suffit pas ; il faut qu'elle soit telle qu'on puisse distinguer la forme des corps éclairés.

On distingue la vision *simple* et la vision *composée*, suivant que l'œil est ou n'est pas armé d'un instrument d'optique. Je m'occuperai presque exclusivement de la première, me bornant à indiquer d'une manière sommaire des moyens employés pour améliorer la vue dans certaines anomalies de l'œil.

Les philosophes de l'antiquité ne concurent que des idées erronées sur la vision. Tandis que les pythagoriciens et les stoïciens admettaient un *souffle visuel* allant de l'organe de la vue aux objets, Empédocle pensait que des effluves allaient en même temps des objets à l'œil et de l'œil aux objets. L'idée la plus judicieuse, bien qu'elle soit entachée d'erreur, est celle de Dé-mocrite, qui pensait que la lumière émane des corps et que les humeurs de l'œil jouent le rôle d'un miroir.

Il faut remonter jusqu'à Alhazen pour trouver une conception scientifique de la vision. Ce physicien arabe, dans un ouvrage écrit vers l'an 1000, et traduit en latin par Frédéric Risner (1), avance que *toute vision se fait par réfraction*. Mais, ne pouvant admettre que les images fussent renversées sur le fond de

(1) *Opticæ thesaurus. Alhazeni arabis, bibl. VII, in-fol. Bâle, 1572.*

l'œil, il ne sut pas tirer parti de sa découverte. Maurolycus (1554) et le savant polonais Vitellion reconnurent également le rôle de la réfraction dans la vision, mais ils ne purent expliquer la formation des images. C'est Léonard de Vinci qui admit le premier que l'image des objets extérieurs se peignait renversée sur la rétine, comme dans la chambre obscure. Porta, à qui l'on doit le perfectionnement de la chambre noire, compara l'œil à cet instrument d'optique, mais il ne parut pas se rendre un compte exact du rôle de la lentille dans le phénomène de la vision.

C'est à Képler qu'il était réservé de jeter les bases de la théorie physique de l'œil. Son *Traité de dioptrique* est le premier ouvrage où soient exposées, d'une manière véritablement scientifique, les notions les plus importantes sur ce sujet.

Képler, suivant un grand nombre d'auteurs, ou Scheiner, suivant l'histoire de l'*optique de Priestley*, aurait observé le premier l'image réelle et renversée des objets sur la rétine, image qui a été vue plus tard par un grand nombre de physiologistes, en particulier par Magendie. Ce dernier expérimenta sur des yeux d'animaux albinos, chez lesquels on arrive plus facilement à voir les images.

DES MILIEUX DE L'ŒIL.

Considéré d'avant en arrière, l'œil nous présente :

1° La cornée transparente; 2° l'humeur aqueuse; 3° l'iris, qui, d'après quelques anatomistes, limiterait en avant la chambre antérieure, en arrière la chambre postérieure de l'œil; mais cette dernière n'existe guère que dans des cas pathologiques, attendu que le cristallin est appliqué directement contre la pupille; 4° le cristallin et sa capsule; 5° l'humeur vitrée; 6° la rétine. Cette dernière ne fait pas en réalité partie des milieux optiques, c'est la partie impressionnable de l'appareil de la vision.

Cornée. — On appelle ainsi la membrane transparente qui, encastrée dans la sclérotique, proémine sur la face antérieure

de l'œil. Sa forme extérieure n'est pas celle d'une calotte de sphère. D'après Chossat, elle formerait, chez le bœuf, le sommet du grand axe d'un ellipsoïde, et, chez l'éléphant, sa courbure serait celle d'un hyperbololoïde. Ce même physiologiste, puis Krause, Vallée, ont trouvé que chez l'homme la forme ellipsoïdale était habituelle.

Le poids de la cornée a été trouvé de 0^{gr},085. Son indice de réfraction serait 1,330 d'après Chossat, 1,33766 d'après Listing.

J'emprunte les chiffres suivants au tableau de l'œil schématique de Giraud-Teulon :

	mm
Épaisseur de la cornée au sommet.....	0,90
— à la circonference.....	1,25
Diamètre de la circonference antérieure.....	12,25
Flèche de sa courbure extérieure.....	2,35
Rayon de courbure de la face antérieure (au sommet).....	8,00
— — — postérieure (au sommet).....	6,00
Première distance focale.....	23,69
Seconde distance focale.....	31,69
Angle de l'axe de la cornée avec l'axe visuel.....	5 degrés.

Humeur aqueuse. — Ce liquide est incolore transparent et très-fluide. Il remplit l'espace compris entre la face postérieure de la cornée et la face antérieure du cristallin.

Sa densité est de 1,0053. — Son indice de réfraction serait de 1,337 (Brewster) ; 1,338 (Chossat) ; 1,33766 (Listing).

Cristallin. — Le cristallin est une lentille biconvexe située au delà de la pupille contre laquelle elle est appliquée. Il est plus bombé en arrière qu'en avant.

Son poids moyen est de 0^{gr},218 (Sappey).

Sa densité est de 1,079 suivant Chénevix.

Le cristallin est parfaitement transparent ; toutefois, même dans le jeune âge, il devient un peu trouble sous l'influence d'un fort éclairage. Cet effet, qui est dû à une réflexion intérieure, peut s'observer sous l'influence d'un éclairage modéré. Plus tard, le cristallin présente normalement à son centre une teinte

(1) Je trouverai bientôt ce même nombre par le calcul.

jaune paille, qui s'étend et se fonce de plus en plus avec l'âge, de sorte que chez le vieillard, il ressemble à de l'ambré jaune.

Je citerai les chiffres suivants, empruntés au même tableau de Giraud-Teulon :

	mm
Épaisseur moyenne du cristallin pendant l'état indolent.....	4,00
— pendant l'accommodation.....	4,40
Diamètre pendant l'état indolent.....	9,50
— l'accommodation (à 130 ^{mm}).....	8,50
Rayon de courbure de la face antérieure à l'état indolent.....	10,00
— pendant l'accommodation (à 130 ^{mm})	6,00
— postérieure à l'état indolent.....	6,00
— pendant l'accommodation.....	5,00
Distance du plan de la pupille au sommet de la cornée..	3 ^{mm} ,6 à 4,00

L'indice de réfraction du cristallin varie en divers points de son épaisseur. D'après Krause, l'indice de réfraction moyen est

Pour la couche extérieure.....	1,4053
— moyenne.....	1,4294
Pour le noyau.....	1,4544

Il résulte des recherches d'Helmholtz que le cristallin produit les mêmes effets qu'une lentille de même forme et de mêmes dimensions dont l'indice de réfraction serait 1,45454.

La capsule du cristallin est une membrane d'une transparence parfaite. Sa minceur, toujours considérable, est moindre à la face postérieure (0^{mm},008) qu'à la face antérieure (0^{mm},007 à la circonference chez l'adulte, 0,016 au centre). *Elle augmente avec l'âge.*

Corps vitré. — On appelle ainsi l'*humour vitrée* et son enveloppe qui est la *membrane hyaloïde*.

L'*humour vitrée* a été rangée par divers auteurs parmi les tissus. M. Robin la place avec raison parmi les humeurs. C'est un liquide très-transparent, à reflet légèrement bleuâtre, dans lequel flottent normalement des leucocytes à l'état de liberté : ces leucocytes sont souvent creusés de vacuoles.

La densité de l'*humour vitrée* est de 1,005 ; sa saveur est légèrement salée. Son indice de réfraction est de 1,339 (Brewster, Chossat), de 1,33766 (Listing et Helmholtz).

La membrane hyaloïde est d'une transparence parfaite et

d'une épaisseur qui ne dépasse pas $0^{mm},002$. Elle est cependant assez résistante.

Rétine. — La rétine est une membrane nerveuse, située entre le corps vitré et la choroïde et formée par l'épanouissement du nerf optique. Elle offre une tache blanche à l'endroit où le nerf optique commence à s'épanouir et, en dehors une tache jaune, *macula lutea*, qui est la partie la plus sensible pour la vision.

Telles sont les principales données relatives aux milieux réfringents de l'œil. Mais parmi ces données, les indices de réfraction sont d'une importance majeure. Or, on a remarqué que, suivant Listing et Helmholtz, la cornée, l'humeur aqueuse et l'humeur vitrée ont le même indice de réfraction, $1,33766$. Ce fait est important à noter, car il simplifie beaucoup les calculs. De cette manière, on n'a pas à tenir compte de la courbure de la face postérieure de la cornée.

Quant à l'œil lui-même, considéré au point de vue géométrique, il offrirait l'aspect d'un sphéroïde presque parfait, si l'on faisait abstraction de la proéminence antérieure de sa partie antérieure.

	mm
Longueur de l'œil, cornée et sclérotique comprises	$24,30$
Epaisseur de la sclérotique en arrière	$0,70$
— de la choroïde moyenne	$0,40$
Axe transversal, la sclérotique comprise	$23,60$
Axe vertical	$23,40$

MARCHE DE LA LUMIÈRE DANS L'OEIL.

1^o J'imagine un œil réduit à la cornée transparente derrière laquelle se trouverait l'humeur aqueuse prolongée à une distance suffisante pour que les images des objets fussent situées dans cette humeur.

Admettons que des rayons venant de l'infini tombent sur un organe ainsi constitué, près de son axe principal.

Soit R le rayon de courbure antérieure de la cornée... $8^{mm},0$
Soit n son indice de réfraction... $1^{mm},33766$

On sait que l'indice de réfraction de l'humeur aqueuse est le même que l'indice de réfraction de la cornée; je n'ai donc pas à tenir compte de la courbure de la face postérieure de cette membrane.

D'après le paragraphe 10, le point de concours des rayons lumineux parallèles à l'axe, en d'autres termes, le *second foyer principal* d'un tel système, est situé à une distance donnée par la relation

$$f' = \frac{nR}{n-1}$$

$$f' = \frac{1,33766 \times 8\text{mm}}{0,33766} = 31\text{mm},69$$

On voit donc que si l'œil était réduit à la cornée et à l'humeur aqueuse, la rétine devrait être placée à 31^{mm},69 en arrière de la face antérieure de la cornée pour qu'elle reçût l'image des points situés à l'infini, ou placés à une distance telle que les rayons incidents pussent être considérés comme parallèles.

Si les rayons venaient d'un point situé sur l'axe principal à une distance de 30 centimètres en avant de la cornée, on trouverait facilement le foyer conjugué de ce point en recourant à la formule $ll' = ff'$, d'où

$$l' = \frac{ff'}{f}$$

mais

$$f = \frac{R}{n-1} = 23\text{mm},68, \quad f' = \frac{nR}{n-1}$$

a déjà été trouvé égal à 31^{mm},69; quant à la valeur de l , elle est égale à 30 centimètres, ou 300 millimètres, diminuée de la distance focale antérieure $f = 23\text{mm},68$; il vient donc

$$l' = \frac{23\text{mm},68 \times 31\text{mm},69}{300\text{mm} - 23,68} = 2\text{mm},72$$

Ainsi, le point de concours des rayons lumineux partant de

30 centimètres en avant de la cornée serait situé à une distance de $31^{mm},62 + 2^{m},72 = 34^{mm},41$ (1).

On voit qu'un œil ainsi constitué serait monstrueusement hypermétrope (2).

Ces cas exceptionnels se trouvent pourtant créés chaque jour par les chirurgiens dans l'extraction du cristallin. J'ai ainsi résolu le problème qui concerne l'*aphakie* (3). Il importe de remédier à cet état par des lentilles convergentes. J'aurai donc à m'en occuper lorsque je parlerai de l'hypermétropie, de la myopie et des moyens physiques qu'on emploie pour corriger ces anomalies.

2° Admettons actuellement qu'en arrière de la cornée transparente et de l'humeur aqueuse se trouve la face antérieure du cristallin, auquel j'attribuerai une épaisseur suffisante pour que les rayons réfractés à sa surface antérieure viennent concourir en un point situé dans sa masse.

Pour déterminer ce point, il faut connaître : 1° la distance du cristallin à la face antérieure de la cornée; 2° le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin; 3° l'indice de réfraction de la lumière passant de l'humeur aqueuse dans le cristallin; 4° le foyer des rayons lumineux, au delà de la cornée, avant leur passage à travers la face antérieure du cristallin.

Or, la distance de la face postérieure de la cornée au cristallin étant de 4 millimètres, et l'épaisseur moyenne de la cornée étant de 1 millimètre, la distance du cristallin à la face antérieure de la cornée est de 5 millimètres. — Le rayon de courbure de la face antérieure du cristallin est de 10 millimètres. Quant à l'indice cherché, on l'obtient [9] en divisant

(1) On arriverait peut-être un peu plus vite à ce résultat en employant la formule classique

$$\frac{1}{p} + \frac{n}{p'} = \frac{n-1}{R}.$$

(2) Cependant on cite des cas où des individus opérés de la cataracte pouvaient distinguer les objets. (Voyez Giraud-Teulon, *Vision binoculaire*.)

(3) De α privatif et ω un, lentille. Cette expression a été créée par Donders.

l'indice total du cristallin 1,454 par l'indice de l'humeur aqueuse 1,33766, ce qui donne

$$n = \frac{1,454}{1,33766} = 1,08737.$$

Enfin les rayons qui auraient à traverser la cornée et l'humeur aqueuse seulement, allant former leur foyer à 31^{mm},69 au delà de la face antérieure de la cornée, il en résulte que la face antérieure du cristallin ne se trouve qu'à une distance de 31^{mm},69 — 5^{mm} = 26^{mm},69 au-devant de cette même face. Je désignerai par p cette distance et par p' la distance du point de concours des rayons après avoir traversé le cristallin.

Cela posé, il suffit de se reporter à la formule de la page

$$\frac{n-1}{R} = \frac{n}{p'} - \frac{1}{p}$$

et de résoudre par rapport à p' . En donnant aux lettres leurs valeurs

$$\begin{aligned} n &= 1^{mm},08737 \\ R &= 10^{mm},0 \\ p &= 26^{mm},69 \end{aligned}$$

on trouve

$$p' = 24^{mm},803$$

En ajoutant à 24^{mm},803 la distance 5 millimètres de la face antérieure de la cornée au cristallin, on obtient le nombre 26^{mm},803.

Ainsi, il résulte du calcul que les rayons venant de l'infini convergeraient, dans un œil ainsi constitué, à une distance de 26^{mm},803 en arrière de la face antérieure de la cornée. Cet œil serait donc encore hypermétrope, mais beaucoup moins que le précédent.

3^o Constituons l'œil d'une manière complète, en plaçant au delà de la cornée, le cristallin considéré sous son épaisseur normale, et limité en arrière par une surface dont la courbure ait 6 millimètres de rayon.

Les rayons, au lieu d'aller converger en p' , iront concourir en un point plus rapproché p'' (fig. 24), donné par la relation

$$\frac{n-1}{R'} = -\frac{n}{p'-e} + \frac{1}{p''}$$

dans laquelle e représente l'épaisseur de la lentille.

Faisons

$$R' = 6^{\text{mm}},0, \quad n = 1,08737, \quad p' = 21^{\text{mm}},803, \quad e = 4^{\text{mm}},0$$

il vient

$$p'' = 13^{\text{mm}},22$$

En ajoutant à cette valeur la distance de la cornée à la face postérieure du cristallin, distance qui est égale à 9 millimètres, on trouve 22^{mm},22.

En résumé :

1° Si l'œil était réduit à la cornée transparente et à l'humeur aqueuse suffisamment prolongée, le foyer des rayons venant de l'infini serait à 31^{mm},69 de la face antérieure de la cornée.

2° Si l'œil était réduit à la cornée, à l'humeur aqueuse (1) et à un cristallin dont l'épaisseur serait 21^{mm},803, le foyer des rayons venant de l'infini serait situé à 26^{mm},803 de la face antérieure de la cornée.

3° Le calcul basé, sur la mesure des indices de réfraction et de la courbure des milieux indique que le foyer des rayons venant de l'infini est situé, dans l'œil normal, à 22^{mm},22 de la face antérieure de la cornée. Or, on sait que l'axe antéro-postérieur de l'œil, y compris l'épaisseur de la sclérotique, est en moyenne de 22 à 24 millimètres. Les résultats fournis par le calcul s'accordent donc parfaitement avec ceux que donne l'expérience.

Helmholtz est arrivé au nombre 22,231. La concordance est donc parfaite entre ma détermination et celle que ce savant

(1) Je n'ai pas tenu compte de l'humeur vitrée, puisque son indice de réfraction est le même que celui de l'humeur aqueuse et de la cornée.

physiologiste a faite à l'aide d'une méthode moins élémentaire, fondée sur la théorie de Gauss. Je vais donner une idée de l'application de cette théorie à la dioptrique de l'œil.

Dans l'étude que j'ai faite d'une lentille biconvexe placée dans l'air, on a vu que les points principaux se confondent avec les points nodaux et que tous les deux sont situés dans la lentille elle-même. On a vu que pour construire l'image d'un objet, on mène, de cet objet, des lignes de directions passant par les points nodaux, lignes qui jouent un rôle analogue à celui que jouent les axes secondaires dans la théorie classique ; puis, cela fait, on trace d'autres droites partant de l'objet et allant percer le premier plan principal en divers points. Des parallèles à l'axe principal menées de ces divers points percent le second plan principal en des points symétriques des premiers, *et qui font partie de la direction des rayons émergents.*

Ces notions seraient encore suffisantes, s'il s'agissait d'une lentille biconvexe placée dans un milieu beaucoup plus réfringent que l'air, et dont l'indice de réfraction devrait être pris en considération. En effet, il suffirait de chercher l'indice relatif des deux milieux, indice qui est égal à $\frac{n'}{n}$ [9], et de l'introduire dans les formules.

Ainsi la relation $f' = \frac{nr}{n-1}$ deviendrait $f' = \frac{n'r}{n'-n} = \frac{n}{n'-n} = \frac{n'r}{n'-n}$ ou mieux encore, en prenant le quotient n'' de $\frac{n'}{n}$ $f' = \frac{n''r}{n''-1}$

Mais d'autres notions sont nécessaires, lorsque les mi-

lieux situés à droite et à gauche de la lentille n'ont pas le même pouvoir réfringent, et lorsqu'au lieu d'une seule lentille on considère l'association de deux ou plusieurs lentilles. Dans le premier cas, les plans principaux sont encore dans la lentille; mais les points nodaux K, K' (fig. 26) ne se confondent plus

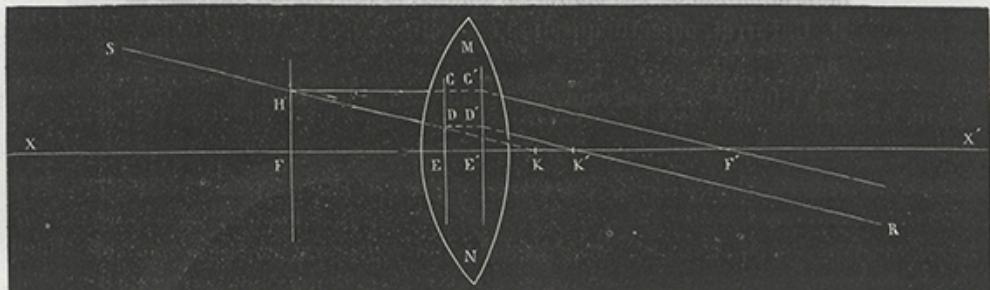


Figure 26.

avec les points principaux E, E' ; ils se sont déplacés du côté du milieu le plus réfringent. Dans le cas d'associations de lentilles (1), les choses deviennent moins simples. Ainsi dans le système suivant (fig. 27), qui représente un milieu M_0 , limité à

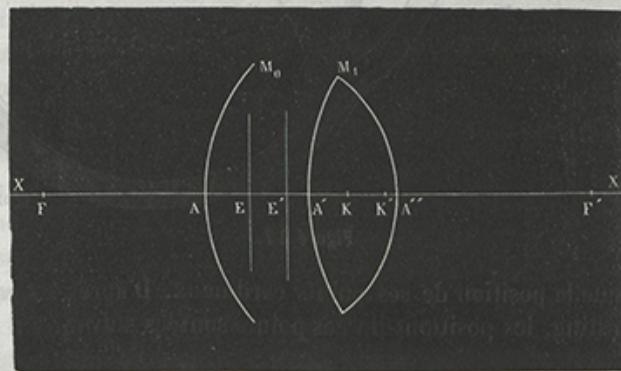


Figure 27.

gauche par une surface sphérique convexe M_0A et, à droite, par

(1) Ces dimensions sont celles de l'œil schématique de Listing. Cet œil pourrait être remplacé par une sphère unique, ayant son centre en K , et formée par l'humeur aqueuse, l'humeur vitrée ou même par de l'eau dont l'indice de réfraction est peu différent. Le rayon de cette sphère serait de 5^{mm}, 1248.

une lentille biconvexe M_0 formée d'une substance dont l'indice est plus grand que celui du milieu M_0 , les points principaux se trouvent être en E et E' , les points nodaux en K et K' , et les foyers principaux en F, F' .

Ne croyant pas devoir exposer les calculs qui conduisent à la détermination de ces points cardinaux, je renvoie à l'ouvrage de M. Gavarret, où cette question est traitée avec les détails nécessaires.

La figure 27, qui représente une coupe horizontale de l'œil,

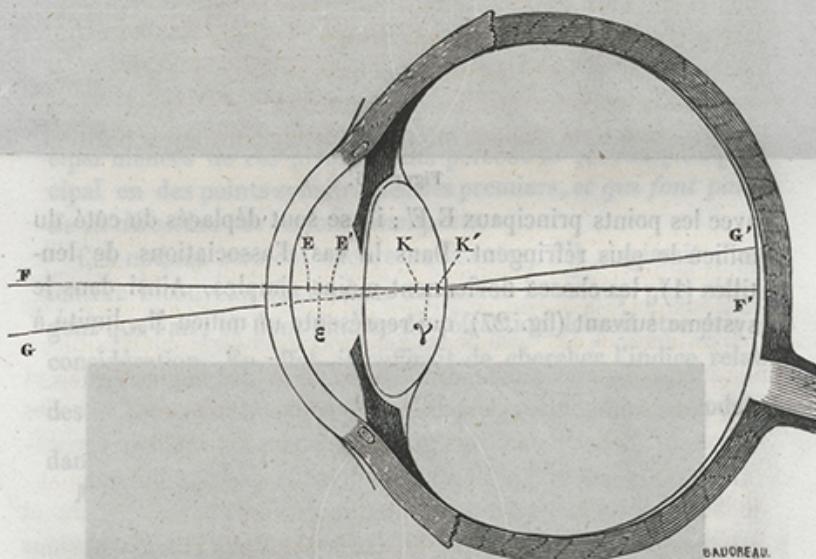


Figure 27.

indique la position de ses points cardinaux. D'après les calculs de Listing, les positions de ces points sont les suivantes :

Première distance focale EF	15 ^{mm} ,0072
Deuxième distance focale $E'F'$	20 ^{mm} ,0746
Distance du premier point principal E à la face antérieure de la cornée.	2 ^{mm} ,4746
— du second point principal E'	2 ^{mm} ,5724
— du premier point nodal K	7 ^{mm} ,2420
— du deuxième point nodal K'	7 ^{mm} ,6398

Les deux points principaux et les deux points nodaux n'étant

éloignés entre eux que de 3 à 4 dixièmes de millimètre, on peut, sans erreur sensible, les réduire chacun à un seul point. De cette manière on n'a à considérer que quatre points cardinaux dans l'œil, savoir : les deux foyers principaux, un seul point principal ϵ situé à 2^{mm},3448 de la face antérieure de la cornée, et un seul point nodal γ situé à 7^{mm},3696 de cette même face. Les nouvelles valeurs de la première et de la seconde distance focales ont alors 15^{mm},4774 et 20^{mm},3022.

Cela posé, pour construire l'image d'un point quelconque d'un objet placé devant l'œil, on mène une ligne de direction passant par ce point et par γ ; son image se trouve nécessairement sur cette ligne et sur la rétine, si l'accommodation est exacte. En traçant ainsi, des points extrêmes de l'objet, deux lignes de direction, on déterminera sur le fond de l'œil la position et la grandeur de l'image.

Angle visuel. — On appelle ainsi l'angle suivant lequel on voit un objet. Son sommet se trouve au point Y (fig. 27), et ses deux côtés passent par divers points de l'objet considéré.

L'estimation des grandeurs relatives de divers objets, situés à la même distance, dépend de la grandeur des angles visuels. En effet, soient divers objets A, A', A'', leurs images α , α' , α'' seront entre elles comme les angles qui les sous-tendent.

Il serait peut être préférable de fixer la position du sommet de l'angle visuel au centre de rotation de l'œil.

La *parallaxe* d'un objet est l'angle sous lequel on voit son diamètre apparent. Cette expression empruntée à l'astronomie est souvent employée en optique, par exemple, lorsqu'il s'agit du relief des corps. On voit que la parallaxe et l'angle visuel sont la même chose.

Axes de l'œil. — La droite FF' assujettie à passer par le point principal ϵ et par le point nodal γ est l'axe optique de l'œil. Il ne faut pas confondre cet axe avec la droite GG' appelée *ligne visuelle* par Helmholtz, assujettie à passer par le point nodal et par la tache jaune *macula lutea*, qui est située en dehors et au-dessous du point F'. C'est sur la

macula, point sensible de l'œil, que se font les images lorsqu'elles sont vues avec le plus de netteté. L'angle F, G compris entre la ligne ou axe visuel et l'axe optique a, suivant Helmholtz, une valeur moyenne de $6^{\circ}, 35$.

Champs de la vision. — On appelle ainsi les espaces angulaires dans lesquels doivent se trouver les objets pour être vus. On en distingue deux, l'un très-petit, dans lequel doivent être contenus les objets pour qu'ils soient vus distinctement : c'est le *champ de la vision nette*. Son angle, d'après Young, n'est pas de plus de 2 à 4 degrés ; aussi, lorsque nous lisons à la distance ordinaire de 30 centimètres, ne pouvons-nous distinguer que les lettres qui ne sont écartées que de quelques millimètres. La rapidité avec laquelle nous pouvons lire dépend de la vivacité avec laquelle l'axe visuel se meut suivant différentes directions. Le second champ visuel est celui où les objets doivent se trouver pour être simplement *aperçus*. Il est de 120 degrés dans le sens vertical et de 150 degrés dans le sens horizontal (Brewster). La forme ellipsoïdale de la cornée transparente est, sans aucun doute, la cause de cette grande étendue du champ de la vision.

Cette image est réelle et renversée. On peut l'observer facilement au fond d'un œil extrait de l'orbite et dont on amincit la sclérotique pour la rendre suffisamment transparente.

Vision droite avec une image renversée. — La position renversée de l'image, position qu'Alhazen ne pouvait admettre, a embarrassé tous les savants et tous les physiologistes, depuis l'époque du physicien arabe jusqu'à nos jours. En effet, il est difficile de donner une explication de la vision droite avec des images renversées. Les métaphysiciens ont subordonné les notions acquises par le sens de la vue aux notions que donne le toucher. Lecat s'exprime ainsi (1) : « Cette seule sensation (le toucher) est le juge compétent, le juge souverain de la situation des corps : c'est ce maître qui le premier nous a dit que nous marchions debout, et qui, sur cette première règle, nous

(1) Lecat, *Oeuvres philosophiques*. Paris, 1767.

a donné la véritable idée de la situation des corps ». Suyant d'autres, tels que Müller, Volkmann, peu importe que les objets soient vus droits ou renversés ; il ne s'agit que de constater leurs rapports de position. Rien ne peut être renversé, a-t-on dit, quand rien n'est droit.

Certains auteurs ont admis que l'enfant voit d'abord les objets renversés et que, peu à peu, par suite des notions que lui donne le sens du toucher, il corrige ses impressions. C'est la théorie *empiristique*. Mais l'aveugle de Cheselden vit les objets droits aussitôt qu'il fut opéré.

D'autres admettent que les objets sont perçus toujours dans la même direction, à une époque quelconque de la vie ; que cette direction n'a pas besoin d'être modifiée par l'expérience ; qu'elle dépend de l'*innéité* (Giraud-Teulon). Leur théorie est appelée *nativistique* ; elle a pour elle l'anatomie comparée de la vision chez certains animaux tels que les insectes, et les mouvements réglés qu'exécutent plusieurs animaux, par exemple les oiseaux, presque immédiatement après leur naissance.

Cette dernière théorie, celle que j'admet, et à laquelle Helmholtz a donné le nom qu'elle possède aujourd'hui, a été adoptée de préférence par les géomètres. D'après eux, nous rapportons la position des objets à la direction d'où nous viennent les impressions, comme, par exemple, lorsque, touchant à droite avec un bâton tenu de la main gauche, nous savons bien que l'objet touché est à droite (Descartes). En effet, il ne faut pas considérer l'individu qui voit comme étant spectateur de l'image qui se forme au fond de son œil ; l'individu qui voit est un individu passif, qui éprouve des sensations, et qui rapporte la position des objets à la direction d'où lui viennent ces sensations. Un objet lumineux étant placé devant l'œil, les points élevés de cet objet viennent former leur image sur la rétine en des points inférieurs et, par suite, le sensorium rapporte leur position à la direction d'où lui viennent les impressions. De même, les parties inférieures d'un objet considéré viennent frapper la rétine suivant une droite dirigée de bas en haut, et c'est suivant cette direction que l'objet est perçu.

RABUTEAU.

7

DE L'ACCOMMODATION.

On appelle *accommodation* la faculté que possède l'œil de s'ajuster pour la vue à diverses distances.

Il ne sera question dans cet article que de l'accommodation de l'œil normal ou emmétrope.

Pour cet œil, le *punctum remotum* PR est à l'infini, le *punctum proximum* PP est à 4 pouces et même à une distance un peu moindre. Il peut voir distinctement tous les objets situés entre l'infini et le *punctum proximum*; en d'autres termes, le *parcours* ou *l'amplitude absolue* de son accommodation est situé entre l'infini et ce dernier point (1).

Or, la théorie et l'expérience apprennent que, dans un instrument d'optique fixe, la position des images varie lorsque l'objet s'éloigne. En effet, le second membre de l'équation

$$W' = FF'$$

étant constant, si l varie, l' doit varier en sens inverse.

L'expérience de Scheiner est trop connue pour que je la rapporte ici.

(1) La limite de la vision distincte se mesure à l'aide d'instruments nommés *optomètres* ou *opsiomètres*. Parmi ceux qui ont imaginé des instruments de cette nature, je citerai Young, Mile, Lehot, Stokes, Ruet, Hasner, Javal.

L'optomètre d'Young consiste en un tube composé de deux parties pouvant s'enfoncer l'une dans l'autre. L'une des extrémités est fermée par un disque présentant une fente unique α que l'on tourne vers la lumière; à l'autre extrémité se trouve un disque présentant deux fentes très-rapprochées et que l'on applique contre l'œil. Tant que la fente α paraît simple, malgré l'écartement des disques, la distance de ces disques est comprise dans le champ de la vision distincte; mais dès que l'image paraît double, cet intervalle est dépassé.

L'optomètre le plus simple consiste en une planchette sur laquelle est tracée une ligne fine qui se détache nettement. A l'une des extrémités de la planchette se trouve un écran présentant deux fentes verticales étroites, et dont la distance est moindre que celle du diamètre de la pupille. Lorsqu'on applique l'œil contre les fentes, la ligne paraît double jusqu'à une certaine distance qui est la distance de la vision distincte. Au delà elle est simple. Cependant, elle se dédouble parfois à une distance plus grande, surtout chez les myopes.

Comment se fait-il que l'œil puisse s'ajuster à toutes les distances ?

Cette question a été longtemps une énigme, et, cependant, ce ne sont ni les travaux, ni les théories, ni les hypothèses qui ont fait défaut dans le but de la résoudre. Nulle part peut-être, dans les sciences, on n'a vu un tel chaos d'idées contradictoires, tant il est vrai que si la vérité est une, l'erreur est multiple.

Helmholtz répartit en groupes les différentes opinions d'après leurs caractères essentiels (1). Je ne citerai d'abord que celles qui sont aujourd'hui abandonnées :

1^o *Opinions qui nient absolument la nécessité de l'existence d'une transformation de l'œil.* — L'un de leurs adeptes fut Magendie, qui pensa que l'œil avait la propriété de former au même endroit les images d'objets différemment éloignés. Ritter, de Haldat, Engel furent du même avis. De la Hire et Haller avaient déjà prétendu qu'il n'y avait qu'une seule vision distincte, et, qu'en deçà et au delà, les objets n'étaient pas assez confus pour qu'on ne pût les reconnaître. Sturm émit une opinion dont je parlerai au sujet de l'astigmatisme. Toutes ces idées tombent devant l'expérience de Scheiner et devant les données de l'ophthalmoscope.

2^o *Opinions d'après lesquelles la contraction de la pupille suffirait pour produire l'accommodation.* — Sans doute, la pupille se dilate dans la vision de loin, et se rétrécit dans la vision de près, de sorte que les cercles de diffusion diminuent de diamètre. Mais, en plaçant devant l'œil une carte percée d'un trou, dont le diamètre est moindre que celui de la pupille, on voit que l'accommodation ne se fait pas. — Parmi ceux qui attribuèrent un rôle si important à la pupille, il faut citer Leroy Hall, Morton, Mile et Haller que j'ai déjà cité.

3^o *Opinions qui admettent un changement de courbure de la cornée* (Home, Englefield, Ramsden, Hueck, Fries, Vallée-Pappenheim). — Mais Young, en mesurant les images réfléchies

(1) *Optique physiologique*, p. 154.

sur la cornée, ne constata pas de variation de courbure. Burow, Valentin et Senff ne furent pas plus heureux. Enfin, Cramer et Helmholtz, par des mesures précises faites à l'aide d'ophthalmomètres, ont ruiné complètement les opinions de ce genre.

4^o *Opinions d'après lesquelles l'accommodation est produite par un déplacement du cristallin.* — Cette hypothèse, soutenue pour la première fois par Kepler, fut admise par Scheiner, Sturm, Porterfield, Plattner, Brewster et quelques autres physiciens. Il est vrai que la face antérieure du cristallin est projetée légèrement en avant lors de la vision de près, mais cette projection provient d'une augmentation de courbure de la lentille.

5^o *Opinions admettant un allongement de l'œil.* — Telles furent celles de Buffon, Boerhaave, Olbers, Meckel, Serre, Henle.

Jamais on n'a pu constater aucun allongement de l'œil dans l'accommodation rapprochée. Si cet allongement pouvait se produire, il donnerait aux yeux privés de cristallin une certaine étendue d'accommodation ; or, il n'y a aucune trace d'accommodation dans l'aphakie, malgré la convergence des lignes visuelles et le retrécissement de la pupille qui se produisent dans les efforts pour voir de près.

A la suite de toutes ces hypothèses, je pourrais citer des opinions *mixtes*, telles que celle qui a été longtemps en faveur, et qui attribuait l'ajustement de l'œil aux variations de la pupille combinées avec la structure du cristallin. La Hire, déjà cité antérieurement, Leroy, Sabattier, Treviranus développèrent cette hypothèse, soutenue surtout par Pouillet. Ce physicien considérait le cristallin comme une lentille ayant un grand nombre de foyers différents ; les plus rapprochés formés par les rayons qui passent près du centre, et les plus éloignés formés par les rayons qui passent près des bords. D'après Pouillet, quand on regarde un objet rapproché, la pupille se contracterait, et les rayons, passant par les parties les plus réfringentes du cristallin, iraient former leur foyer sur la rétine. Quand, au contraire, on regarde un point éloigné, la pupille se dilaterait, et les rayons,

traversant le cristallin près du contour, dans les parties les moins réfringentes, iraient former leur foyer un peu plus loin.

S'il en était ainsi, nous devrions être myopes le jour et presbytes le soir, ce qui n'a pas lieu. D'ailleurs, Dugès a prouvé expérimentalement que l'accommodation ne dépend pas de variations dans l'ouverture de la pupille.

Enfin, Vallée (1), supposant que le pouvoir réfringent du corps vitré augmente du cristallin à la rétine, crut pouvoir déduire de ses calculs que ce milieu jouait un rôle dans l'accommmodation. Les propriétés optiques du corps vitré étant partout les mêmes, l'opinion de Vallée ne peut être admise.

Cet aperçu des opinions les plus contradictoires sur l'accommmodation prouve l'inanité de la science toutes les fois qu'elle n'est pas fondée sur l'expérimentation. C'est en vain que les calculs transcendants, tels que ceux de Sturm et de Vallée, viennent appuyer les hypothèses les plus judicieuses; l'observation renverse les conclusions qui ne ressortent point des faits.

Toutes les opinions précédentes étant exclues, je passe à celle dont la vérité est démontrée aujourd'hui et qui fait dépendre l'ajustement de l'œil de variations de courbures du cristallin.

Cette opinion fut d'abord celle de Descartes. Elle fut soutenue ensuite par Joung, Camper, Hunter, Purkinje, de Graefe, et mise en lumière surtout par les recherches de Cramer et de Helmholtz sur les images dites de Purkinje.

Images de Purkinje. — On place une bougie à une petite distance d'un œil bien conformé, et dont la pupille est dilatée, de manière que les rayons lumineux tombent obliquement sur la cornée en faisant avec l'axe visuel un angle donné. L'observateur regarde obliquement de l'autre côté suivant un même angle. Il observe alors trois images. L'une, antérieure, est droite virtuelle et brillante; elle est formée par les rayons réfléchis par la cornée. Une autre est également droite, plus grande et très-pâle;

(1) *Théorie de l'œil.* Paris, 1843, et *Comptes rendus de l'Académie des sciences.*

elle est formée par les rayons qui ont traversé la cornée et se sont réfléchis sur la face antérieure. C'est la *première image cristallinienne*. Enfin la troisième est petite, un peu plus brillante et renversée ; c'est la *seconde image cristallinienne* ; elle est formée par les rayons qui, ayant traversé la cornée et la face antérieure du cristallin, se sont réfléchis sur la face postérieure du cristallin, face qui joue le rôle d'un miroir concave.

Pour donner une idée de la manière dont on peut déterminer la grandeur et la position de ces images, je vais considérer l'image cornéenne.

Je suppose qu'une bougie, dont la flamme a une hauteur de 5 centimètres, soit placée devant l'œil d'un sujet en observation, à une distance de 20 centimètres de la face antérieure de la cornée.

Soit SP la flamme de la bougie (fig. 6) ; la position de l'image $S'P'$ sera donnée par la relation $l'l = \varphi^2$ (voy. p. 7), dans laquelle $l = PF$ et $l' = P'F'$.

Or,

$$l = PA + AF$$

mais

$$PA = 0^{\text{m}},20 \quad \text{et} \quad AF = \varphi = \frac{r}{2} = \frac{8^{\text{mm}}}{2^{\text{mm}}} = 4^{\text{mm}}$$

puisque 8^{mm} est le rayon de courbure de la cornée ;
donc

$$l' = \frac{\varphi^2}{l} = \frac{16}{204} = 0^{\text{mm}},0784$$

Ainsi l'image de la bougie sera à $0^{\text{mm}},0784$ du second foyer principal F de la cornée, ou à $4^{\text{mm}}, 0^{\text{mm}},0784 = 3^{\text{mm}},9216$ de la face antérieure de cette membrane.

Quant à sa grandeur $S'P'$, on la déterminera en appliquant la relation

$$S'P' = SP \frac{\varphi}{PF}$$

laquelle donne

$$S'P' = \frac{50^{\text{mm}} \times 4}{204} = 0^{\text{mm}},98$$

L'image catoptrique d'une flamme haute de 5 centimètres, placée à 20 centimètres de la cornée, est donc située à 3^{mm},9216 en arrière de la cornée, et sa hauteur égale à 0^{mm},98. On comprend qu'elle soit brillante à cause de ses faibles dimensions.

Si la bougie était placée à une distance moindre de la cornée, la discussion de la formule $l' = \varphi^2$ ferait voir que l'image de la flamme serait plus rapprochée et plus grande. Supposons, par exemple, que la bougie soit à 10 centimètres de la cornée, le calcul indique que l'image de la flamme serait à 3^{mm},846 au lieu de 3^{mm},9216 en arrière de la face antérieure de cette membrane, et que sa hauteur serait de 1^{mm},923.

Si l'on éloignait la bougie, l'image s'éloignerait aussi de la cornée et deviendrait moindre.

Des calculs analogues donneraient la position et la grandeur de la première et de la seconde images cristalliniennes ; seulement la dernière est renversée et réelle, d'après ce qui a été dit au sujet des miroirs concaves.

Les images de Purkinje sont encore appelées images de Sanson, chirurgien anglais qui a appliqué les notions qu'elles fournissent au diagnostic de la cataracte. A une époque plus rapprochée, elles ont servi à découvrir le mécanisme de l'accommodation.

En effet, en 1853, Cramer à Harlem, et peu de temps après, Helmholtz à Göttingue, mesurèrent avec une rare précision les

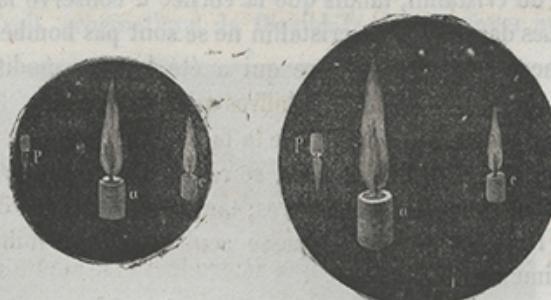


Fig. 28.

images formées par le cristallin et en déduisirent les variations de forme de cette lentille (1).

(1) Il est juste de dire que, avant Cramer et Helmholtz, Max Langenbeck avait

Revenons à ces images. La figure 28 représente à droite leurs positions et leurs grandeurs relatives lorsque, l'œil étant accommodé pour un objet éloigné, une flamme est placée devant la cornée. Nous supposerons que, pour faire l'expérience, on se serve de l'appareil de Cramer, lequel consiste essentiellement en un tube évasé qui, recevant la lumière d'une bougie, la dirige vers la pupille, et en une lunette avec laquelle on observe les images. On s'est placé dans une chambre obscure pour observer ces images plus commodément.

Cela fait, sans rien changer dans l'appareil, on dit au sujet dont l'œil est observé d'accommoder sa vue pour la vue d'un objet plus rapproché, mais situé sur le même axe optique. La pupille se contracte, comme on le voit à gauche de la figure, mais on remarque : 1^o que l'image catoptrique antérieure brillante, formée par la réflexion des rayons sur la cornée, a conservé la même dimension et le même éclat; 2^o que l'image cristallinienne antérieure, celle qui est droite, a diminué considérablement, et s'est rapprochée de la pupille; 3^o que la seconde image catoptrique du cristallin a diminué également un peu de grandeur. En même temps, les deux images cristalliniennes sont un peu plus éclairées.

Il s'est donc produit, dans l'acte de l'accommodation, un accroissement de courbure de la face antérieure et de la face postérieure du cristallin, tandis que la cornée a conservé la même forme. Les deux faces du cristallin ne se sont pas bombées de la même façon, c'est l'antérieure qui a été la plus modifiée. En effet, si l'on se reporte aux chiffres que j'ai cités (p. 38), on voit que le rayon de courbure de la face antérieure, qui était de 10 millimètres à l'état indolent, se réduit à 6 millimètres pour l'accommodation à 13 centimètres, tandis que le rayon de courbure de la face postérieure passe seulement de 6 millimètres à 5 millimètres.

Quel est l'agent de l'accommodation? « On ne sait encore reconnu que les dimensions et la position de ces images varient avec l'accommodation, et qu'il eut l'idée d'appliquer au cristallin la méthode employée par Joung pour la mesure du rayon de courbure de la cornée (*Klinische Beiträge aus dem Gebiete der chir. med., Ophthal.*, Göttingen, 1849).

rien de certain, dit Helmholtz, sur la manière dont se produit le changement de forme du cristallin.» C'est ici qu'apparaissent de nouveau les opinions les plus contradictoires.

Sans m'arrêter aux diverses hypothèses ou plutôt aux diverses erreurs émises à cet égard, comme celle d'Young, qui allait jusqu'à considérer le cristallin comme un muscle (*musculus cristallinus*), je citerai seulement l'opinion la plus probable. On sait que le *muscle ciliaire*, appelé encore *muscle de Brücke, muscle de l'accommodation*, est composé d'une portion radiaire (*tenseur de la choroïde*), qui s'insère à la sclérotique vers la paroi interne du canal de Schlemm, et va se perdre dans la choroïde, dans les procès ciliaires et dans le bord adhérent de l'iris; 2° d'une portion circulaire dont les fibres s'attachent principalement au bord de l'iris. Le muscle ciliaire, en se contractant, rapproche ses points d'insertion, c'est-à-dire la périphérie de l'iris et de la choroïde. Comme le ligament suspenseur du cristallin est intimement lié à la choroïde, elle suit le mouvement de la choroïde en avant, et se relâche, de sorte que le cristallin, se trouvant abandonné à son élasticité, devient plus convexe.

DÉFAUTS DE L'ACCOMMODATION.

{Dans l'œil normal, dont le type est l'œil schématique de Listing ou l'œil schématique de Giraud-Teulon, le foyer prin-

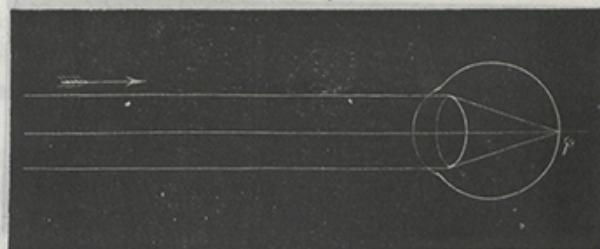


Figure 29.

cipal des rayons venant de l'infini se trouve exactement sur la RABUTEAU.

répine; la distance entre ce foyer et la couche des bâtonnets est nulle (fig. 29); en d'autres termes, l'équation

$$l'' = FF'$$

se trouve vérifiée pour $l = \infty$.

— Mais il n'existe peut-être pas un seul œil absolument normal.

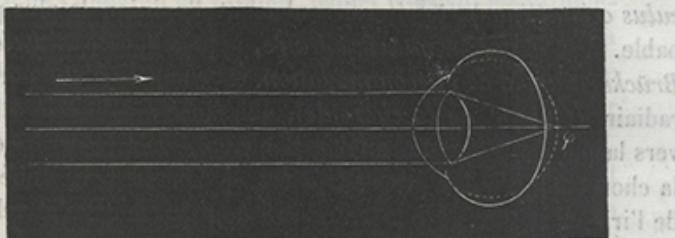


Figure 30.

au point de-vue de la réfraction, car on trouve toujours un verre, quelque faible qu'il soit, à l'aide duquel on voit mieux qu'à l'œil nu. La distance l' , qui existe entre le second foyer principal de l'œil, n'est donc presque jamais nulle.

Deux cas peuvent se présenter : ou bien la rétine est placée au delà du second foyer principal φ (fig. 30), ou bien elle se trouve en deçà du même foyer (fig. 31). Dans le premier cas, l' est compté positivement; dans le second cas, il faut l'inscrire avec le signe négatif. De là, pour exprimer cet état de choses, des expressions nouvelles.

Donders appelle *emmétropes* (de *εμμέτρος*, *modum tenens*, et

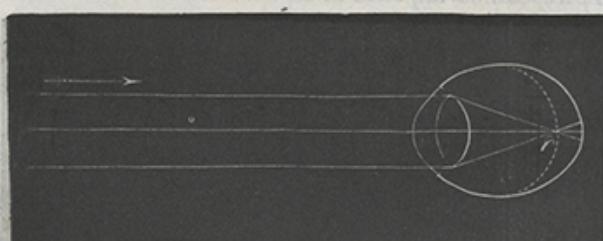


Figure 31.

ωψ, œil) les yeux normaux; ceux dont le *punctum remotum* est à l'infini, et dont le *punctum proximum* est à une distance pour la mesure du rayon de courbure de la corne. (Klinische Beiträge aus dem Gebiete der Chir., med., Optik, Göttingen, 1859.)

tance qui n'est guère moindre que quatre pouces. Placés en deçà de cette limite, les objets paraissent moins nets. Un œil semblable s'applique de préférence à la distance ordinaire de la vision distincte, laquelle est de 30 centimètres.

L'expression *emmétrope*, purement physique, est de beaucoup préférable à l'expression d'œil *normal*, attendu que ce dernier, bien que normal au point de vue optique, peut être défectueux au point de vue anatomique. — On caractérise par l'expression d'*emmétropie* cet état de l'œil.

Le même auteur désigne sous le nom de *brachymétropes* (de *βραχὺς*, court; *μέτρον*, mesure, et *ψ*) les yeux dans lesquels le *punctum remotum* est à une distance finie, parfois assez courte. Ces yeux sont ceux dans lesquels la réfraction se fait comme l'indique la figure 31; le second foyer principal se trouve dans l'humeur vitrée. L'expression nouvelle est également préférable à l'expression de *myope* (de *μωπός*, cligner), laquelle indique l'habitude qu'ont les individus atteints de cette anomalie. — L'expression de *brachymétropie* doit remplacer l'expression de *myopie*.

Donders appelle *hypermétropes* les yeux qui peuvent réunir sur la rétine non-seulement les rayons parallèles mais encore ceux qui sont convergents à leur incidence. Lorsqu'un œil semblable est au repos, les rayons parallèles forment leur foyer au delà de la rétine (fig. 30). On distingue trois variétés, ou plutôt trois degrés d'*hypermétropie* :

1^o L'*hypermétropie absolue*, qui est le degré le plus fort. Dans cet état, malgré les plus grands efforts d'accommodation, l'œil ne peut faire converger sur la rétine les rayons incidents parallèles.

2^o L'*hypermétropie relative*, état intermédiaire dans lequel l'œil peut arriver, par un grand effort d'accommodation, à ramener sur la rétine le second foyer principal. Les efforts sont assez considérables pour que, par un effet de synergie des muscles de l'accommodation et des droits internes, les yeux soient obligés d'exécuter un mouvement de convergence tel que l'un

des yeux se trouve exclu par cela même de la vision. En outre, il se produit de la diplopie, qui elle-même détermine la tendance à l'exclusion de l'un des yeux.

3° L'*hypermétropie facultative*, qui consiste en ce que l'œil peut ramener sur la rétine le foyer des rayons parallèles à l'axe, grâce à un simple effort qui n'épuise pas toute sa force accommodatrice.

On confond parfois l'hypermétropie avec la *presbytie*, qu'il vaut mieux nommer *presbyopie*. Tandis qu'on peut appeler indifféremment *brachymétropie*, ou *myopie*, l'état d'un œil myope, on ne peut employer l'une pour l'autre les expressions d'*hypermétropie* et de *presbytie*, bien que désignant parfois la même chose. S'il est vrai que l'hypermétropie soit en général particulière aux vieillards, s'il est vrai qu'elle débute chez l'emmétrope entre quarante et cinquante ans, et qu'elle progresse avec l'âge, il est certain aussi qu'elle débute parfois à un âge moins avancé. Pour mieux distinguer ces deux expressions, je dirai qu'on nait hypermétrope et qu'on devient presbyte. Ainsi l'on cite une jeune fille (1) qui ne pouvait voir nettement qu'avec les lunettes de son grand-père les objets placés à la distance ordinaire de la vision distincte.

Donders désigne la myopie et l'hypermétropie sous la dénomination générale d'*amétropie* (2).

On attribuait généralement naguère la myopie et le presbytisme aux courbures du cristallin ou de la cornée. On disait, par exemple : Chez le myope, le cristallin est trop bombé ; aussi les rayons parallèles vont-ils former leur foyer en avant de la rétine. Chez le presbyte, le cristallin n'est pas assez convexe ; c'est pourquoi les images des objets placés à la distance de la vision

(1) Giraud-Teulon, *Vision binoculaire*.

(2) On appelle *asthénopie*, *hebetudo visus*, *kopiopie*, *amblyopie presbytique*, un défaut d'accommodation qui ne dépend ni des dimensions antéro-postérieures de l'œil, ni de l'état du cristallin, mais d'une faiblesse musculaire d'accommodation. Tôt ou tard, l'hypermétropie se complique d'asthénopie, par suite de la fatigue produite par les efforts d'accommodation.

distincte se forment au delà de la rétine. Il est reconnu aujourd'hui que le cristallin et la cornée présentent les mêmes rayons de courbure chez le myope et chez l'hypermétrope : c'est l'axe antéro-postérieur de l'œil qui est différent chez les deux sujets. Quant à la presbytie, elle provient de causes dont l'étude appartient plus à la pathologie qu'à la physique.

Des moyens physiques employés pour remédier à l'amétropie.

L'œil myope ne peut jamais s'adapter à des objets éloignés. En effet, il faudrait pour cela qu'il pût diminuer son accommodation ; or l'œil n'est muni d'aucun appareil propre à produire cet effet. Il faut, de toute nécessité, recourir à l'emploi des lentilles divergentes qui viennent corriger l'excès de la convergence produite par l'organe de la vue.

En suivant une marche analogue à celle qui m'a servi à trouver la formule classique des lentilles convergentes, on arrive rapidement à la formule générale des lentilles divergentes

$$-\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

dans laquelle p est la distance du point lumineux, p' la distance de l'image à la lentille.

Soit d' la distance de la vision distincte d'un myope, d la distance à laquelle on veut qu'un objet soit vu, 30 centimètres par exemple. On placera devant l'œil une lentille divergente telle que les rayons partant de l'extrémité de d soient vus comme s'ils venaient de l'extrémité de d' . On aura donc, pour déterminer la distance focale de la lunette, conformément à la formule précédente, la relation

$$-\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}$$

d'où

$$f = \frac{dd'}{d - d'}$$

L'œil atteint d'hypermétropie absolue a toujours besoin de verres convergents pour voir distinctement. L'emploi de ces

verres est également indispensable pour voir nettement des deux yeux dans l'hypermétropie facultative; enfin l'usage en est tout à fait utile dans l'hypermétropie facultative, ne fasse que pour prévenir l'asthénopie.

Soit, de même, d' la distance de la vision distincte d'un hypermétrope, d la distance à laquelle on veut qu'un objet soit vu nettement. On placera devant l'œil une lentille convergente telle que les rayons partant de l'extrémité de d soient vus comme s'ils venaient de l'extrémité de d' . Le point d' situé du même côté que d par rapport à la lentille convergente, est un foyer virtuel de ce dernier. On aura donc pour déterminer la distance focale de la lentille la relation

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}$$

d'où

$$f = \frac{dd'}{d' - d}$$

Ces lentilles divergentes, à très-longs foyers, sont nommées *lunettes ou bésicles*.

Suivant Pline, Néron, qui était myope, se servait d'émeraudes particulières pour améliorer sa vue: *Nero princeps spectabat ludos in smaragdo*. Ces émeraudes devaient être concaves; de là sans doute la défense de faire graver des émeraudes semblables.

On ne peut voir dans ce fait la découverte des bésicles. L'invention des lunettes a été attribuée à Salvino degli Armati, mort en 1347, mais on ne possède pas des données suffisantes à ce sujet. Ce qu'il y a de plus certain, c'est que cette découverte a été faite à la fin du xiii^e siècle, qu'elle fut d'abord tenue secrète et qu'elle fut divulguée plus tard par Spina.

ABERRATION CHROMATIQUE.

On sait que lorsque la lumière naturelle traverse un prisme, elle se décompose en rayons de réfrangibilité et de couleurs différentes. Si le prisme repose par sa base sur un plan,

on voit les rayons rouges toucher le plan à une distance du prisme plus grande que celle où tombent les rayons violetts plus réfrangibles. Une lentille biconvexe LL' (fig. 32) pouvant être considérée comme formée d'un nombre infini de prismes dont les uns auraient leurs bases dirigées vers l'axe de haut en

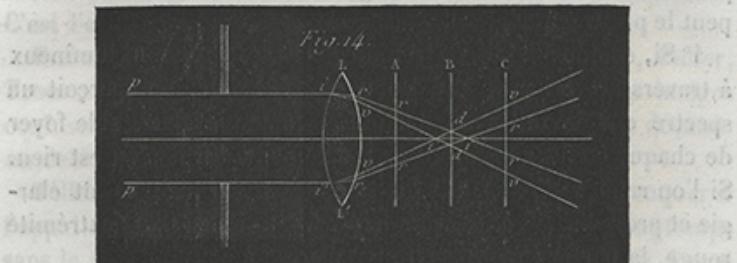


Figure 32.

bas et les autres de bas en haut, on conçoit que le foyer f' des rayons rouges rr soit plus éloigné que le foyer f des rayons violetts vv . Si l'on place un écran en A, le cône lumineux dont le sommet est en f' , au foyer des rayons rouges, présente une section, blanche au centre, mais entourée d'une auréole irisée dont le rouge est à l'extérieur. Au point C on obtiendrait le contraire. En f et en f' il n'y aurait plus de lumière blanche au centre, mais seulement des cercles présentant circulairement les couleurs du spectre disposées en sens contraire. Enfin on voit que l'écran placé en B serait éclairé par un cercle de lumière blanche.

Ces détails, relatifs aux aberrations de réfrangibilité des lentilles simples, expliquent pourquoi les images données par ces lentilles sont indécises et irisées sur leurs bords. Il fallait remédier à ce défaut. Newton regardait « l'affaire comme désespérée », mais les calculs d'Euler, qui croyait à la possibilité de l'achromatisme des lentilles à cause de l'achromatisme de l'œil (achromatisme apparent à cette époque), montrèrent, contrairement à Newton, que l'on pouvait achromatiser les milieux réfringents, ce que Dollond réalisa pratiquement pour la première fois, en disposant sur le trajet d'un faisceau lumineux deux

prismes de nature différente et d'angles de réfringence différents.

Il était naturel de penser que l'œil formé de milieux réfringents devait présenter un certain degré de chromatisme. C'est en effet ce qui a lieu, quoique, dans la vision ordinaire, la dispersion des couleurs ne se fasse guère sentir. Voici comment on peut le prouver :

1^o Si, comme l'a fait Vollaston, on regarde un point lumineux à travers un prisme, une étoile par exemple, on aperçoit un spectre qui devrait avoir partout la même largeur, si le foyer de chaque couleur se faisait au même point. Or il n'en est rien. Si l'on regarde l'extrémité violette, la partie rouge paraît élargie et présente des *cercles de diffusion*; si l'on fixe l'extrémité rouge, la partie violette se trouve élargie à son tour.

2^o Frauenhofer observa un spectre prismatique à travers une lunette achromatique, à l'oculaire de laquelle étaient adaptés deux fils croisés très-fins, et il remarqua que pour voir distinctement ce réticule, il était obligé d'en rapprocher davantage l'oculaire lorsque le champ visuel était éclairé par la partie violette du spectre, que lorsqu'il était formé par la partie rouge. Il trouva dans ses expériences que si un œil voit distinctement un objet infinité éloigné et dont la lumière correspond à la ligne C du spectre, c'est-à-dire à la ligne de séparation du rouge et de l'orangé, il faudrait rapprocher à 18 ou 24 pouces de Paris, pour le voir distinctement sans faire varier l'accommodation, un objet dont la lumière correspondrait à la couleur de la ligne G qui se trouve entre l'indigo et le violet (1).

Helmholtz est arrivé à des résultats analogues. La plus grande distance visuelle de son œil pour la lumière rouge est d'environ 8 pieds, tandis qu'elle n'est que de 1 pied et demi pour la lumière violette, et même de quelques pouces seulement pour les rayons ultra-violets.

3^o Lorsqu'on regarde à travers l'optomètre d'Young la fente objective unique éclairée par de la lumière simple, on voit que l'on doit éloigner ou rapprocher diversement cette fente pour

(1) Helmholtz, *Optique physiologique*.

être toujours vu simple, suivant la couleur de la lumière employée. La distance de la vision distincte n'est donc pas la même pour les objets de couleurs différentes; preuve évidente du chromatisme de l'œil.

4° Chacun sait qu'on éprouve de la fatigue quand on veut lire des lettres rouges tracées sur un fond vert clair de même éclat. C'est l'expérience des *cœurs agités de Wheatstone*.

Enfin il résulte des expériences de Jurin, Scheiner, Müller, Trouessart, que l'œil n'est plus achromatique pour les images confuses qui se font sur la rétine, quand on regarde en deçà ou au delà de l'objet.

Telles sont les principales preuves que l'on peut invoquer à l'appui du chromatisme de l'œil. Cependant on fut longtemps sans le reconnaître. Le pouvoir dispersif de l'œil humain formé de milieux dont l'indice de réfraction est très-peu supérieur à celui de l'eau, ne pouvait être, en effet, aussi notable que celui que présentent les instruments d'optique non achromatisés, formés de verre beaucoup plus réfringent que l'eau.

Bien que faible, le pouvoir dispersif de l'œil peut se déterminer facilement; en d'autres termes, on peut calculer le diamètre des cercles de diffusion formés sur la rétine. Soit ff' l'intervalle focal des rayons rouges et violets (fig. 3) et qui porte ici la dénomination d'*aberration longitudinale de réfrangibilité*. L'aberration *latérale* est le rayon fd du cercle perpendiculaire en f à l'axe de la lentille (ce rayon n'est pas marqué sur la figure). Soit l la distance du foyer des rayons violets au centre de la lentille, R le rayon du cône lumineux dans cette même lentille; il vient

$$\frac{fd}{R} = \frac{ff'}{l}$$

Helmholtz a calculé la dispersion de l'œil réduit de Listing, en le supposant formé d'une sphère réfringente d'eau, et en employant les indices de réfraction de l'eau déterminés par Frauenhofer.

Pour la lumière rouge de la raie C..... = 1,331705
Pour la lumière violette de la raie G..... = 1,341285

Le rayon de la surface réfringente unique de l'œil réduit de RABUTEAU.

Listing étant de $5^{mm},1248$, on trouve les distances focales des rayons incidents parallèles à l'axe.

$$\text{Pour le rouge. } f = \frac{nr}{n-1} = \frac{1,334705 \times 5^{mm},1248}{0,334705} = 20^{mm},574$$

$$\text{Pour le violet. } f' = \frac{n'r}{n'-1} = \frac{1,344285 \times 5^{mm},1248}{0,344285} = 20^{mm},440$$

$$\text{Différence.} \dots \dots \dots = 0^{mm},434$$

Mathiessen a trouvé $0^{mm},58$ à $0^{mm},62$, en déterminant la plus faible distance à laquelle il pouvait voir distinctement des lignes tracées sur une lame de verre éclairée soit par de la lumière rouge, soit par de la lumière violette.

Toutes ces recherches, comme le dit Helmholtz, s'accordent à montrer que l'œil humain se rapproche beaucoup, quant à la dispersion des couleurs, d'un œil en eau distillée, mais qu'il possède toutefois un pouvoir dispersif un peu plus fort que celui de l'eau pure.

ABERRATION MONOCHROMATIQUE. — ASTIGMATISME.

L'expression *d'aberration monochromatique* est employée par Helmholtz pour désigner une aberration qui se produit aussi bien pour la lumière simple, monochromatique, que pour la lumière composée.

On distingue deux aberrations monochromatiques : 1^o *L'aberration de sphéricité* ; 2^o *l'astigmatisme*.

La première est d'autant plus considérable que les rayons lumineux forment un cône plus divergent en tombant sur les lentilles ; de là l'usage des diaphragmes dans les instruments d'optique. L'œil peut être considéré comme dépourvu d'aberration de sphéricité, ce qui tient à la présence du diaphragme irien, aux courbures ellipsoïdales de la cornée et du cristallin, à la forme concave du fond de l'œil.

L'*astigmatisme* est une anomalie de réfraction qui dépend d'un défaut de symétrie de la surface antérieure de la cornée ou des surfaces du cristallin par rapport à l'axe de l'œil.

Si l'œil était formé, comme nos instruments d'optique, de

milieux réfringents parfaitement centrés sur un même axe, et symétriques par rapport à cet axe, les images des objets placés sur le parcours de l'accommodation seraient toujours vues avec netteté. Il n'en est point ainsi. Non-seulement les milieux réfringents de l'œil ne sont pas limités par des surfaces sphériques, comme je l'ai admis pour plus de simplicité, ni par des surfaces ellipsoïdales exactes; mais les courbures varient quelquefois considérablement d'un méridien à un autre. Il en résulte ce fait que, des rayons partant d'un même point de l'espace, mais pénétrant dans l'œil suivant, divers méridiens, ne forment pas leur foyer en un même point de la rétine; il y a donc défaut de point, en un mot, *astigmatisme* (1), expression créée par Whewell.

Cette anomalie de réfraction a été découverte par Thomas Young, qui était lui-même astigmate (2). « Mon œil, dit-il (page 39 du mémoire), dans l'état de relâchement, rassemble en un foyer, sur la rétine, les rayons qui divergent verticalement d'un objet à la distance de 10 pouces de la cornée, et les rayons qui divergent horizontalement d'un objet à la distance de 7 pouces; car si je place le plan de l'optomètre verticalement, les deux images de la ligne noire paraissent se couper à 10 pouces de distance, et à 7 si je le place horizontalement. » Il dit plus loin (page 43): « Quand je regarde un point tel que l'image d'une chandelle dans un petit miroir concave, il paraît comme une étoile radiée ou une croix, ou comme une ligne inégale, et jamais comme un point parfait, à moins que je n'emploie une lentille concave inclinée convenablement. » Dans ce même mémoire, il a représenté plusieurs images telles qu'elles se formaient dans son œil en fixant divers objets.

L'opticien Cary, à qui Young fit part de ses observations, lui apprit que beaucoup de personnes étaient obligées de tenir obliquement un verre concave, afin de voir distinctement. Herschell dit aussi dans son *Optique*, que les vices de conforma-

(1) De *à privatif, astigmat point.*

(2) Voyez dans *Philos. Transactions*, l'article *Lecture on the Mechanism of the Eye* 1801.

tion de la cornée sont beaucoup plus communs qu'on ne le croit généralement, et que peu d'yeux en sont exempts.

Un peu plus tard, en 1810, Gerson (de Hambourg) apprit, dans une dissertation inaugurale, que son maître Fischer, sans connaître les travaux d'Young, avait découvert sur lui-même l'astigmatisme. En 1818, le peintre d'histoire Cassas s'aperçut qu'il ne pouvait distinguer les lignes horizontales, et finit par trouver, vers 1840, un opticien de Rome qui lui tailla des verres à l'aide desquels le défaut de sa vue fut corrigé passablement.

En 1827, Airy, directeur de l'observatoire de Greenwich, constatait qu'avec son œil gauche un point lumineux, placé à six pouces, lui apparaissait comme un trait formant un angle de 35 degrés avec la verticale, tandis que, placé à trois pouces et demi, le point se dessinait suivant une ligne perpendiculaire à la précédente.

Sturm, en 1845, publia dans les *Comptes rendus* trois mémoires sur l'un desquels je reviendrai.

Goulier, en 1852, corrigeait les troubles de la vision avec des lentilles cylindriques convexes ou concaves, et envoyait à l'Institut un pli cacheté contenant ses recherches sur l'astigmatisme. Son mémoire ne fut ouvert qu'en 1864, alors que de nombreux travaux avaient été faits à l'étranger, notamment par Knapp et par Donders.

N'ayant pas à faire un historique complet de l'astigmatisme, je me bornerai à citer, parmi les travaux les plus récents, ceux de M. Gavarret et de M. Javal. M. Javal a publié en 1866, dans les *Annales d'oculistique*, une histoire et une biographie de l'astigmatisme et a fait une étude particulière de cette anomalie. M. Gavarret a écrit, dans le *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*, un article remarquable, auquel j'ai emprunté les deux figures ci-jointes.

Après le mémoire de Young, publié en 1801, les travaux de Sturm, insérés dans les *Comptes rendus* de 1845, sont ceux qui ont le plus contribué à établir la théorie de l'astigmatisme sur des bases véritablement scientifiques. Aussi ai-je cru devoir me fonder sur les considérations mathématiques de l'ancien professeur de la Faculté des sciences.

Soit $AB, A'B'$ la circonference de la cornée, AA' la direction du méridien vertical, BB' la direction du méridien horizontal. Supposons que la courbure suivant le premier méridien, le vertical, soit plus forte que suivant le second : les rayons compris dans

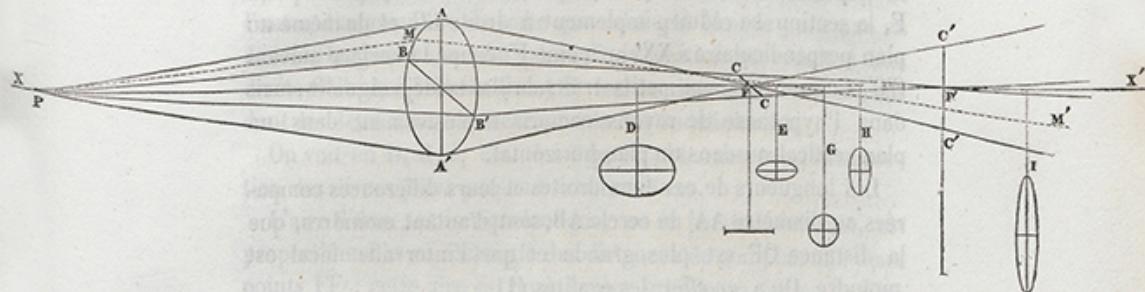


Figure 33.

le méridien vertical iront former leur foyer en un point F nécessairement plus rapproché que le foyer F' des rayons horizontaux.

La distance FF' est l'intervalle focal de Sturm (1).

Si les rayons tombant sur la cornée étaient tous verticaux, ils seraient tous réfractés dans un même plan et iraient former une ligne lumineuse verticale $C'C'$ sur un écran placé en F' au delà de leur foyer F . Si les rayons tombant sur la cornée étaient tous horizontaux, ils iraient former une ligne lumineuse horizontale CC sur un écran placé en F en avant de leur foyer F' .

Cela posé, le rayon qui passe par un point M , pris dans l'intérieur ou sur le contour du diaphragme $ABA'B'$, est assujetti à rencontrer les deux droites fixes CC et $C'C'$; d'où il suit que la surface qui limite le faisceau de lumière est une surface gauche engendrée par une ligne droite indéfinie, qui se meut en s'appuyant sur la circonference du diaphragme et sur les deux droites fixes et limitées $CC, C'C'$.

Si l'on suppose, pour plus de simplicité, le diaphragme de forme circulaire, tout plan perpendiculaire au rayon central PX' en un point quelconque, D ou H , différent des points F et F' ,

(1) *Comptes rendus*, 1845, t. XX, p. 557.

coupe cette surface gauche où le faisceau lumineux, suivant une ellipse dont les axes, tracés sur la figure en D et H, sont parallèles aux diamètres AA' , BB' du cercle $ABA'B'$, et compris, l'un entre les droites AF et $A'F$, l'autre entre les droites AF' et $A'F'$. Mais quand on mène un plan perpendiculaire à XX' par le point F, la section se réduit simplement à droite CC' , et de même un plan perpendiculaire à XX' au point F' coupe la surface suivant $C'C'$. Ce sont les deux petits traits brillants déjà signalés, mais dans l'hypothèse de rayons compris exclusivement dans un plan vertical ou dans un plan horizontal.

Les longueurs de ces deux droites et leurs différences comparées au diamètre AA' du cercle AB, sont d'autant moindres, que la distance OF est plus grande et que l'intervalle focal est moindre. On a, en effet, les égalités (1)

$$\frac{CC}{BB'} = \frac{FF'}{OF'} \quad \frac{C'C'}{AA'} = \frac{FF'}{OF}$$

en remarquant que

$$BB' = AA'$$

d'où

$$\frac{C'C' - CC}{CC} = \frac{FF'}{OF}$$

Quand le plan perpendiculaire à XX' , sur lequel tombe la lumière, se meut en s'éloignant du diaphragme AB, les sections qu'il fait dans le faisceau lumineux, ou les parties éclairées, sont une suite d'ellipses dont les deux axes diminuent ensemble, mais non dans le même rapport jusqu'à ce que le plan mobile vienne passer par le foyer F le plus rapproché du diaphragme. Alors l'axe parallèle à BB' est CC' , et l'autre axe devient nul, de sorte que l'ellipse se réduit à la droite CC' . Le plan continuant à s'éloigner du diaphragme, l'un des axes continue de décroître; l'autre, qui s'était évanoui, commence à croître; la section devient un cercle, lorsque les distances du plan aux deux foyers FF' sont entre elles comme les distances du diaphragme

(1) Le point O n'a pas été marqué sur la figure. Il devrait se trouver au centre du cercle $ABA'B'$.

circulaire O à ces mêmes foyers ; d'où il suit que lorsque l'intervalle focal FF' est une petite fraction de la distance OF , cette section circulaire est à très-peu près au milieu de l'intervalle focal, mais toujours plus près de F que de F' . Le plan passant au delà de cette position, l'un des axes continue de diminuer, et l'autre d'augmenter, de sorte que celui qui était le petit axe va devenir le grand axe. Au point F' la section se réduit à une droite $C'C'$. Au delà du point F' les sections sont des ellipses dont les deux axes augmentent à la fois indéfiniment.

On voit en D , E , I , etc., les figures obtenues par l'intersection des divers plans perpendiculaire à l'axe.

L'aire d'une section quelconque, ou la portion éclairée, est proportionnelle au rectangle des distances de son plan aux deux points FF' ; cette aire est donc la plus grande au milieu de l'intervalle focal.

Appliquons maintenant ces données à la vision. Supposons un œil dont les courbures de la cornée soient différentes dans deux méridiens, dont l'un soit vertical et l'autre horizontal. Supposons en outre une croix placée devant cet œil. L'image de la branche verticale paraîtra nette lorsque la rétine sera au foyer des rayons horizontaux, car c'est en ce point que les rayons com-

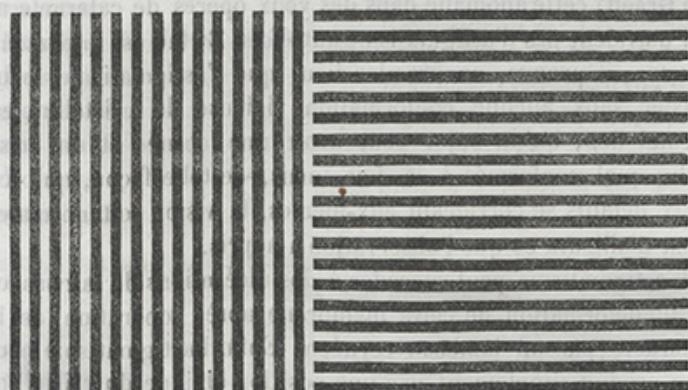


Figure 34.

pris dans un plan vertical forment une ligne verticale. Au contraire, l'image de la branche horizontale sera nettement perçue

par la rétine, lorsque cette membrane sensible sera un foyer des rayons verticaux.

On voit qu'un œil ainsi constitué ne peut percevoir simultanément, d'une manière nette, les lignes verticales ni les lignes horizontales. Quand les unes sont nettes, les autres paraissent obscures et élargies. Un astigmate ne peut voir distinctement, et à la fois, les lignes noires verticales et horizontales tracées sur un fond blanc (fig. 34). S'il veut voir les lignes verticales, son œil doit s'ajuster exclusivement pour la perception de ces lignes. Il en est de même s'il veut voir nettement les lignes horizontales.

Quand un astigmate regarde un anneau, il le voit plus large et d'une teinte plus foncée en deux points opposés. — Lorsqu'un individu atteint d'astigmatisme, que je suppose régulier, regarde une croix dont l'un des bras lui paraît trouble, il peut voir ce même bras distinctement en inclinant la tête de 90 degrés, et les voir tous les deux avec la même netteté en inclinant la tête seulement de 45 degrés. Il est facile aujourd'hui d'expliquer ces faits signalés par Plateau (1).

On admet en général que l'astigmatisme dépend le plus souvent d'une forme irrégulière de la cornée. Mais on a constaté (de Graeff) cette anomalie dans des yeux opérés de cataracte et qui n'avaient pas d'astigmatisme autrefois. Ce fait est important à noter; il prouve, en premier lieu, que l'astigmatisme peut exister sans aucune conformation vicieuse du cristallin, en second lieu, qu'un sujet peut avoir une cornée et un cristallin mal conformés à la fois, mais, de telle façon, que les deux défauts se corrigent eux-mêmes, la vision soit normale. C'est d'ailleurs ce que l'observation a appris.

L'astigmatisme peut succéder à des ulcérations de la cornée, à une déformation de cette membrane après l'opération de la cataracte par un lambeau cornéen. Enfin l'astigmatisme peut être produit simplement par une position oblique du cristallin, lors même que ce milieu réfringent est bien conforme.

(1) *Bull. de l'Acad. de Bruxelles*, 1834.

Les deux méridiens de l'œil qui présentent la plus grande différence de réfraction sont désignés sous le nom de *méridiens principaux*. Ils peuvent affecter des positions quelconques, mais le plus souvent ils sont perpendiculaires entre eux, l'un d'eux étant vertical ou très-rapproché de cette direction. La verticalité de l'un des méridiens n'est pas aussi générale qu'on pourrait le croire d'après Donders; mais, ce qu'on peut affirmer, surtout depuis les recherches de Javal (1), c'est que presque toujours elle existe complètement ou à peu près chez les sujets astigmates et atteints de strabisme.

Bien qu'affecté d'astigmatisme, un œil peut voir parfois les objets avec netteté. Young (2) nous apprend lui-même qu'il pouvait voir distinctement les objets de faibles dimensions. Pour expliquer la netteté de la vision malgré cette anomalie, Sturm et plusieurs auteurs ont admis que, par le fait de l'accommodation, la rétine coupait le faisceau réfracté dans le lieu de l'*intervalle focal* où l'image d'un point est une tache de diffusion circulaire, image d'un diamètre assez petit pour ne pas dépasser l'étendue d'un élément anatomique. Cette opinion n'est pas conforme aux recherches de Javal, qui a prouvé que l'accommodation se fait en général pour les lignes verticales, c'est-à-dire de telle façon que la rétine soit placée au foyer des rayons horizontaux.

L'astigmatisme est *régulier* ou *irrégulier*. Il est régulier lorsque la courbure suit une progression croissante ou décroissante d'un méridien à l'autre. Il est irrégulier quand la différence de courbure ne suit aucune loi.

Donders a ramené à trois les différentes formes que peut revêtir l'astigmatisme. Il reconnaît :

- 1^o L'astigmatisme simple;
- 2^o L'astigmatisme composé;
- 3^o L'astigmatisme mixte.

Chacune des deux premières divisions en comprend deux autres. L'astigmatisme simple est *myopique* lorsque l'un des

(1) Thèse inaugurale, Paris, 1868.

(2) *Loc. cit.*
RABUTEAU.

méridiens étant emmétrope, l'autre est myope. Supposons que la différence de réfraction des deux méridiens soit $\frac{1}{15}$, cette variété d'astigmatisme sera désignée par

$$Am \frac{1}{15}$$

L'astigmatisme simple est *hypermétropique* lorsque l'un des méridiens étant emmétrope, l'autre est hypermétrope. Supposons que la différence de réfraction des deux méridiens soit $\frac{1}{10}$, cette variété d'astigmatisme sera désignée par

$$Ah \frac{1}{10}$$

Dans l'astigmatisme *composé*, les deux méridiens principaux sont, ou tous les deux myopes, ou tous les deux hypermétropes, mais à des degrés différents.

Supposons un méridien atteint de myopie $\frac{1}{10}$ dans le méridien vertical et de $\frac{1}{15}$ dans le méridien horizontal ; le degré d'astigmatisme est alors $\frac{1}{10} - \frac{1}{15} = \frac{1}{30}$ et l'on désigne cet état de la manière suivante :

$$M \frac{1}{10} + Am \frac{1}{30}$$

Admettons de même qu'un méridien soit atteint d'hypermetropie $\frac{1}{25}$, et un autre, d'hypermétropie $\frac{1}{20}$; le degré de l'astigmatisme est $\frac{1}{15} - \frac{1}{25} = \frac{2}{75}$. On le désigne par la formule :

$$H \frac{1}{25} + Ah \frac{2}{75}$$

Dans l'astigmatisme *mixte*, l'un des méridiens est myope et l'autre hypermétrope. Il en résulte que le degré de cet état est

la somme des fractions qui expriment la myopie et l'hyperméropie.

L'astigmatisme irrégulier est en général au-dessus des ressources de l'art ; mais l'astigmatisme régulier peut être corrigé facilement par des verres cylindriques concaves ou convexes.

Il est évident que de semblables verres, ne pouvant modifier la marche des rayons lumineux suivant la direction de leur axe, n'ont d'effet que dans des plans dirigés suivant des droites différentes de cet axe. La réfraction est d'autant plus grande que ces plans sont moins inclinés sur l'axe du verre cylindrique ; elle est *maxima* dans un plan qui lui est perpendiculaire.

S'agit-il de corriger un astigmatisme myopique simple, on placera devant l'œil, et perpendiculaire au méridien myopique, une lentille cylindrique concave dont le foyer soit donné par la formule

$$-\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

Pour corriger l'astigmatisme hypermétropique simple, on recourrait à la relation

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{d'} = \frac{1}{f}$$

S'agit-il de corriger un astigmatisme composé, par exemple un astigmatisme myopique, on corrigerait d'abord l'astigmatisme par une lentille cylindrique concave cylindrique, puis la myopie générale par une lentille sphérique concave ordinaire.

La courbure et la direction des lentilles cylindriques dépend nécessairement de la mesure de l'astigmatisme et de la direction des méridiens principaux. Ce sont donc ces dernières qu'il importe de déterminer d'une manière précise. Parmi les instruments d'optique qui permettent de mesurer l'astigmatisme et l'inclinaison des axes, instruments dans la description desquels je ne puis entrer, je citerai la lentille de Stokes, et l'optomètre binoculaire de Jayal.

VISION BINOCULAIRE.

Je n'ai considéré jusqu'ici que la vision monoculaire ; il s'agit maintenant d'étudier la vision avec les deux yeux. Cette question éprouve actuellement le sort qu'a éprouvé longtemps l'accommodation. Les théories sont peu nombreuses, il est vrai, mais chacune d'elles a de dignes représentants.

Quand on regarde un objet des deux yeux, on ne le voit pas double. Aristote et Ptolémée expliquaient la fusion des deux impressions par l'habitude que nous posséderions de sentir certains points de l'œil impressionnés de la même manière, quand la lumière vient d'un même objet. On voit que l'origine de la doctrine des *points identiques* est très-reculée.

Citons d'abord les faits d'observations qui viennent appuyer cette doctrine.

Un objet fixé par les deux yeux est vu simple lorsqu'il se trouve au sommet de l'angle formé par les axes optiques.

Cette proposition est si vraie, que si deux objets semblables sont situés exactement sur la direction des axes convergents, ils donnent la sensation d'un objet unique. Si, par exemple,



Figure 35.



Figure 36.

(fig. 35), deux objets identiques a, a' sont placés, l'un sur la direction de l'axe Oa , l'autre sur la direction de l'axe $O'a$, on n'observe qu'un seul objet à l'intersection S des deux axes. Il en est de même si a et a' , au lieu d'être placés au delà du

point S, se trouvent en avant de ce point (fig. 36). Notons que, dans le premier cas, l'objet situé à droite est vu par l'œil gauche, et réciproquement.

Si l'on veut répéter avec succès ces expériences dues à Wheatstone, il faut, comme l'a conseillé ce savant (1), placer, suivant la direction de chacun des axes, un tube creux à travers lequel on regarde les objets *aa'*.

2° Si l'on pousse l'un des yeux avec le doigt tandis qu'ils sont appliqués à un même objet, on voit double;

3° Si, regardant un point lumineux avec les deux yeux, on interpose, entre ce point et l'un des yeux, un prisme de 2 ou 3 degrés, les rayons lumineux sur le trajet desquels il est situé, sont déviés vers la base du prisme, et l'on voit double; mais, en déplaçant l'autre œil, on voit bientôt simple.

Tels sont les principaux faits qui viennent à l'appui de la théorie des *points identiques* ou *correspondants*.

Dans cette théorie, on admet que la rétine est composée d'éléments sensibles en même nombre et distribués symétriquement autour des axes optiques (ou peut-être mieux des axes visuels). Les points symétriques sensibles étant impressionnés simultanément, il en résultera une fusion des deux images formées dans chacun des yeux.

Le lieu des points lumineux qui jouissent de la propriété de former dans les deux yeux des images symétriques, et qui, par conséquent, sont vus simples à la fois, se nomme *horoptre*. C'est une circonference de cercle passant par le centre optique de chacun des yeux. Il est évident qu'il n'y a à considérer ici que la portion extérieure de l'horoptre.

La théorie des points identiques implique la formation, sur la rétine, d'images parfaitement semblables; mais Wheatstone, en découvrant le stéréoscope, est venu démontrer qu'une image nette pouvait résulter de la fusion de deux images dissemblables.

Si l'on regarde un cube successivement avec chacun des yeux, on le voit différemment. L'œil droit le voit comme il

(1) *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. II.

est représenté à droite de la figure 37, et l'œil gauche comme il est représenté à gauche. Une face seule, la face antérieure, est vue de la même manière par les deux yeux.

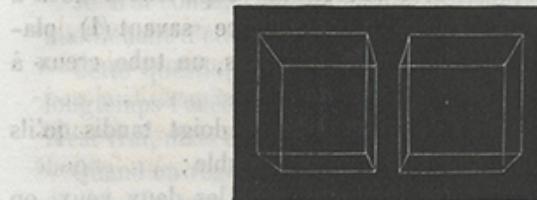


Figure 37.

Cela fait, supposons que l'on porte dans le stéréoscope les deux images différentes précédentes, on sait qu'on ne verra qu'un seul objet, et qu'il apparaîtra tel que lorsqu'on le regardait avec les deux yeux.

Théorie de Panum et Hering. — Ces faits ne pouvaient pas s'expliquer dans la théorie des points identiques. C'est alors que Panum et Hering proposèrent les suivantes :

Voici d'abord celle de Panum :

Chaque point *a* de l'une des rétines serait identique avec un certain cercle *A* qui lui correspondrait dans l'autre rétine, et il y aurait fusionnement possible dès que deux *contours analogues* passeraient d'un côté par *a*, et de l'autre par un point quelconque de *A*. Mais Helmholtz objecte que « toutes les fois que l'impression *a* de l'une des rétines se fusionne avec celle du point *B*, non homologue, dans le cercle *A* de l'autre rétine, elle doit se fusionner avec le point *A*, son homologue dans ce même cercle *A*. Les points *A* et *B* de la même rétine donneraient lieu à une image unique ; conclusion peu en harmonie avec la doctrine de l'identité. »

Telle est la doctrine des points *presque* identiques ou correspondants. De Graefe l'admit au Congrès de 1862 ; mais entre identité et non-identité il n'y a pas de moyen terme ; la *presque identité* est la *non-identité* (Giraud-Teulon).

Hering admet que les différents points de la rétine provoquent,

outre les sensations colorées, trois autres sortes de sentiments d'étendue : la *longitude*, la *latitude* et la *profondeur*. Cette dernière aurait des valeurs égales, mais de signes contraires pour deux points identiques, c'est-à-dire ayant même longitude et même latitude, des valeurs égales et de même signe pour des points placés symétriquement. En somme, le sentiment de profondeur dans les moitiés externes des rétines est positif, c'est-à-dire qu'il correspond à une profondeur plus grande ; dans les moitiés internes, il est négatif et répond à une profondeur moindre.

Mais la théorie de Hering n'est qu'une variante de la théorie de l'identité.

Abandonnant toute théorie, nous reconnaissons que la vision binoculaire nous procure la notion du relief des corps et l'estimation des distances.

Au sujet du relief des corps, je ferai remarquer avec Helmholtz que, lorsque nous regardons au loin, les deux axes optiques étant parallèles entre eux, il n'existe pas pour nous de relief géométrique ni de notion réelle de la profondeur ; tandis que dans la vision rapprochée, la géométrie à trois dimensions exerce son influence par la convergence des axes optiques et l'inégalité des images rétinianes. En effet, pour les deux yeux, les parallaxes d'un même point d'un objet rapproché ne sont pas égales. Comme preuve à l'appui de cette proposition, Helmholtz ajoute que « si l'on diminue la distance mutuelle de deux photographies stéréoscopiques, on voit l'objet apparent se rapprocher de l'observateur et s'aplatir ; on le voit alors comme représenté en bas-relief. Si l'on augmente la distance des photographies, l'objet semble s'éloigner de l'observateur, et il prend un relief plus haut. »

Dans l'estimation des distances, on peut distinguer deux cas : ou bien le corps est assez rapproché, ou bien il est à une distance notable.

Si l'objet est rapproché, la vision binoculaire nous donne sur l'estimation de sa distance des notions que ne peut fournir la vision monoculaire :

« Que l'on suspende au bout d'un fil une bague dont l'ouver-

autrefois, les moyens étaient de ce genre, mais l'usage
RAHOTEAU.

ture ne soit point disposée vers nous ; que l'on se retire à trois ou quatre pas ; que l'on prenne à la main un bâton recourbé par le bout ; qu'alors, fermant *un œil* d'une main, on essaye d'enfiler la bague avec le bout recourbé du bâton, on sera surpris de ne pouvoir peut-être faire en cent fois ce que l'on croyait très-facile. Si l'on quitte même le bâton et qu'on veuille enfiler *de travers* la bague avec quelqu'un des doigts, on y trouvera quelque difficulté, quoique l'on en soit tout proche. Cette difficulté cesse à l'instant si l'on ouvre les deux yeux (1). »

Lorsque l'objet est éloigné, nous ne pouvons juger de sa grandeur que par la comparaison de ses dimensions avec celles d'autres corps dont les dimensions sont connues.

DES IMAGES ENTOPTIQUES.

On appelle *entoptiques* ou *endoscopiques* les images de divers objets contenus dans les milieux réfringents de l'œil (2).

J'en parlerai avec d'autant plus d'intérêt que, suivant moi, certaines de ces images peuvent nous fournir les notions les plus exactes sur la théorie difficile de la vision droite ou renversée, et que je puis, à chaque instant, les percevoir dans mes yeux. Lorsque, presque au début de mes études médicales, je les perçus pour la première fois, elles me causèrent une certaine inquiétude, bien naturelle lorsqu'on ignore les choses. Je sus bientôt que ces images se produisaient dans les yeux d'un grand nombre d'individus, chez lesquels les fonctions visuelles n'avaient jamais rien laissé à désirer. Voyons d'abord comment on peut les observer facilement.

Helmholtz conseille d'approcher de l'œil, soit l'image d'une lumière éloignée qui se forme au foyer d'une petite lentille convergente, soit un petit bouton métallique bien poli qui reçoit la

(1) Mallebranche, *Des sens*, liv. 1^{er}. chap. IX.

(2) Le jésuite Dechales est le premier qui ait émis, en 1690, une opinion sur ces images qu'on appelle encore *mouches volantes*. Il admettait qu'elles étaient formées par les ombres de corpuscules placés dans l'humeur vitrée, ce qui est reconnu exact. Morgagni plaça ces corpuscules dans tous les milieux de l'œil.

lumière du soleil ou celle d'une lampe, soit enfin un écran de papier qui laisse passer la lumière à travers une très-petite ouverture. La disposition la plus convenable consiste à employer une lentille convergente de grande ouverture et de petite distance focale, en avant de laquelle, et à quelque distance, on dispose une lumière dont la lentille donne en son foyer une image diminuée. Puis, on place un écran foncé et opaque percé d'une petite ouverture, de telle sorte que l'image de la lumière vienne se former sur cette ouverture, qui laisse alors échapper un large cône de rayons divergents. En se rapprochant beaucoup de l'ouverture, l'œil voit à travers celle-ci, la surface large et uniformément éclairée de la lentille, sur laquelle se représentent avec une grande netteté les objets entoptiques en question.

J'ajouterais qu'en regardant le ciel par un temps pur, alors que l'atmosphère est vivement éclairée, on voit parfaitement les images entoptiques. C'est même ainsi que je les ai observées pour la première fois. Enfin, et ce point n'a pas encore été noté, du moins à ma connaissance, je dirai qu'en travaillant au microscope je les aperçois si bien qu'elles me gênent parfois. Il suffit, pour cela, d'un éclairage ordinaire, ou même de l'éclairage artificiel produit par la flamme d'un bec de gaz ou d'une lampe.

Les dimensions des images varient suivant la position du point éclairant.

Si ce point se trouve au premier foyer principal de l'œil, les rayons qui pénètrent dans cet organe deviennent parallèles dans l'humeur vitrée ; il en résulte que l'ombre produite par un corpuscule contenu dans l'humeur vitrée est la projection géométrique de ce corpuscule.

Si le point éclairant se trouve entre le foyer antérieur et la cornée, les rayons lumineux partis de ce point forment, dans le corps vitré, un cône dont la base est sur la rétine. Les ombres projetées par les corpuscules sont alors plus grandes que ces derniers.

Si le point éclairant se trouve au-delà du foyer antérieur, les rayons émanes de ce point forment, dans l'œil-

meur vitrée, un cône dont le sommet est cette fois dirigé du côté de la rétine; d'où il résulte que les ombres projetées par les corpuscules contenus dans cette humeur ont des dimensions plus grandes.

Conformément à ces explications, les objets vus entoptiquement, ou plutôt leurs ombres, paraissent grandir lorsqu'on rapproche l'œil du point éclairant, et diminuer lorsqu'on l'éloigne. Si les corpuscules étaient placés dans l'humeur aqueuse, les variations de grandeur des images se produiraient suivant les mêmes principes.

Plus les dimensions du corps éclairant sont faibles, plus les images sont nettes, parce que la pénombre diminue en même temps que le corps éclairant, et qu'elle devient nulle si ce dernier est réduit à un point. C'est pour un motif semblable que les images entoptiques sont d'autant mieux dessinées que l'ouverture pupillaire est plus faible. Mais on sait aussi que lorsqu'on regarde à travers une ouverture très-étroite, il se produit des phénomènes de diffraction qui viennent troubler la netteté des images.

On ne peut observer les perceptions entoptiques dans les circonstances ordinaires, par exemple, lorsqu'on se trouve dans une salle, à moins qu'elle ne soit très-fortement éclairée. En effet, la lumière diffuse qui pénètre dans l'œil continue de se diffuser dans ses milieux réfringents qui sont éclairés partout, ainsi que les corpuscules qu'ils contiennent. Mais lorsqu'un faisceau lumineux brillant pénètre dans l'œil, les objets qu'il contient, se trouvant éclairés fortement sur leur face antérieure et très-peu sur leur face postérieure, projettent nécessairement des ombres. C'est pourquoi il me suffit le soir de regarder la flamme d'une bougie pour pouvoir les percevoir, surtout lorsque je diminue le champ de la vision en rapprochant les paupières. C'est pourquoi aussi on les aperçoit en regardant le ciel fortement éclairé : la pupille est rétrécie, et livre passage à un faisceau lumineux fortement éclairant.

La nature des corpuscules contenus dans l'humeur aqueuse ou dans l'humeur vitrée est peu connue. On sait cependant que ce dernier contient des leucocytes creusés de vacuoles, mais

il doit renfermer aussi d'autres corps. Je trouve que, chez moi, ce sont des points circulaires, des graviers excessivement ténus, parfois des filaments déliés. Outre ces objets formés sans doute de principes de la troisième classe, se trouvent des corpuscules réguliers formés de principes de la seconde classe, des lamelles microscopiques de cholestérol, qui, jouant le rôle de miroirs plans, réfléchissent la lumière suivant diverses directions déterminées par la position qu'ils occupent et produisent le *synchysis étincelant*.

Les objets contenus dans l'humeur aqueuse et dans l'humeur vitrée ne sont pas les seuls qui puissent produire des perceptions entoptiques.

Listing distingue quatre formes parmi les apparitions que produit le cristallin.

a. Taches perlées, ressemblant tantôt à des bulles d'air, tantôt à des gouttes d'huile ou à de petits cristaux vus au microscope. Il les regarde comme des mucosités contenues dans l'humeur de Morgagni. Listing est évidemment dans l'erreur sur la place qu'il attribue à ces mucosités, car on sait aujourd'hui que l'humeur de Morgagni n'existe que sur le cadavre.

b. Taches obscures qui semblent être des obscurcissements partiels du cristallin.

c. Bandes claires représentant le plus souvent une étoile irrégulière à branches peu nombreuses et situées au milieu du champ visuel.

d. Lignes radiales obscures qui tiennent à la structure rayonnée du cristallin.

Les larmes, les produits de sécrétion des glandes de Meibomius, peuvent donner lieu aussi à la perception d'images entoptiques. Ces images ont l'aspect de nuages, de remous de l'eau, de diverses figures, telles que celles qu'on observe lorsqu'on étend un liquide onctueux sur un corps transparent. Leurs formes, au lieu d'être fixes, comme le sont très-souvent les images des objets placés dans l'humeur vitrée, se modifient rapidement et disparaissent même par le battement des paupières.

J'ai donné plus haut un aperçu des principales opinions sur la vision droite avec une image renversée au fond de l'œil.

Rejetant les idées des métaphysiciens qui attribuent ce jugement de la position droite aux notions acquises par le toucher, j'ai cru devoir m'arrêter à l'opinion des géomètres, à celle de Descartes, admise par Képler, puis par le physicien Muschenbroek, développée ensuite par d'Alembert et par Brewster. D'après Descartes, nous rapportons la position des objets à la direction suivant laquelle ils envoient des rayons lumineux. Brewster a même érigé en loi que *nous transportons l'impression reçue à la direction normale à la surface de la rétine*. Les phénomènes entoptiques peuvent-ils prouver cette loi ?

Quand, dirigeant la face vers une partie du ciel très-éclairée, je relève brusquement les yeux abaissés d'abord vers l'horizon, les objets contenus dans l'humeur vitrée et dans l'humeur aqueuse sont relevés par ce mouvement brusque, ainsi que les fluides qui lubrifient la cornée. Or, si je conserve l'œil dans la direction élevée que je lui ai imprimée, je vois *toutes les images entoptiques retomber* peu à peu et disparaître au-dessous du champ de la vision. Aux formes variables des substances demi-fluides qui recouvrent la cornée, et aux corpuscules contenus dans l'humeur aqueuse, correspondent certainement des images renversées sur la rétine, mais ce qu'il y a de certain aussi, c'est que les images, ou plutôt les ombres des objets placés dans l'humeur vitrée sont *droites*. Il n'y a plus ici de milieu réfringent nouveau, à travers lequel les rayons partant des objets contenus dans l'humeur vitrée puissent être réfractés; je peindra ma pensée en disant que la rétine voit cet objet comme un mur voit un objet situé dans une salle. La conclusion de ce fait s'impose d'elle-même. Puisque nous voyons droits divers objets dont les uns font des images droites, les autres des images renversées sur la rétine, il faut admettre que nous transportons l'impression reçue à la direction normale à la surface de cette membrane.

qu'il n'y ait pas de réflexion dans l'œil, mais que l'œil soit transparent, et que l'œil soit rempli d'un liquide transparent.

Il y a deux sortes de réflexion dans l'œil : la réflexion dans l'œil et la réflexion dans l'œil.

III

PERCEPTIONS VISUELLES.

La rétine est un organe de sensibilité spéciale. On peut l'irriter, la piquer avec des aiguilles, comme le faisait Magendie, sans provoquer aucune douleur. Elle ne répond aux agents extérieurs que par des phénomènes lumineux. Mais s'il est vrai que les actions mécaniques exercées sur elle produisent des sensations visuelles ; la lumière extérieure seule peut produire sur elle des impressions qui nous font reconnaître la forme extérieure des corps. Ainsi, un homme recevant un coup violent sur les yeux, par la lueur qui l'a frappé ne peut jamais reconnaître l'individu.

On sait aujourd'hui que la lumière n'a pas plus d'existence matérielle que le son. C'est le résultat d'un mouvement vibratoire des corps dits *lumineux*, mouvement qui se propage dans l'éther. Les lois de sa propagation sont les mêmes que celles des ondes sonores ; car peu importe que l'on considère les vibrations longitudinales ou transversales, les calculs conduisent aux mêmes formules.

On appelle *longueur d'onde* la distance à laquelle l'ébranlement

ment se propage en une seconde. Elle est donnée par la relation

$$\lambda = \frac{v}{n}$$

dans laquelle v représente la vitesse de la propagation du mouvement, et n le nombre de vibrations effectuées pendant ce temps. Cette longueur est excessivement faible pour la lumière et variable pour les ondes qui produisent diverses couleurs.

Le tableau suivant indique les longueurs d'onde des rayons partant de divers points du spectre et le nombre de vibrations correspondant aux couleurs principales :

Raies et couleurs du spectre.	Valeur de λ en dix-millièmes de millimètre.	Nombre de vibrations par seconde en trillions.
Raie B.....	6,88	»
Raie C.....	6,50	»
Rouge moyen.....	6,20	477
Raie D.....	5,89	»
Orangé moyen.....	5,83	528
Jaune moyen.....	5,51	529
Raie E.....	5,26	»
Vert moyen.....	5,12	601
Raie F.....	4,84	»
Bleu moyen.....	4,75	648
Indigo moyen.....	4,49	686
Raie G.....	4,29	»
Violet moyen.....	4,23	728
Raie H.....	3,93	»

Comment se font les perceptions visuelles? Il est reconnu aujourd'hui que le son, la chaleur et la lumière sont les effets d'une cause commune, de mouvements vibratoires excités dans deux milieux différents. Les mouvements vibratoires excités dans l'air produisent le son, ceux qui sont excités dans l'éther produisent la chaleur et la lumière. Parmi ces derniers on admet que les moins rapides produisent les sensations calorifiques, et les plus rapides les sensations lumineuses. Enfin, comme il n'y a pas de limite absolue, il existerait des mouvements plus rapides encore qui ne seraient perçus par aucun sens. L'existence de ces mouvements

est mise hors de doute par les actions chimiques qui se produisent au delà du violet dans le spectre, et par les phénomènes de fluorescence.

Ce sont les ondulations de l'éther qui ébranlent la rétine et produisent en elle des perceptions diverses suivant la direction, et par suite suivant la forme des corps lumineux d'où émane le mouvement.

Je m'occuperai ici de certains points de la vision dont je n'ai rien dit encore,

Irradiations.— On dessine un cercle noir sur un fond blanc et un cercle blanc sur un fond noir, puis on expose les deux dessins au soleil à une distance de quelques mètres devant soi. On remarque alors que le cercle blanc paraît beaucoup plus grand que le cercle noir; si le cercle noir, dessiné sur le fond blanc est suffisamment petit, la lumière blanche empiétant sur lui le fait totalement disparaître. — On a donné le nom d'*irradiation* à ces phénomènes.

Le bord d'un écran noir, placé sur le trajet de la lumière venant d'une bougie, paraît échancre; c'est encore un phénomène d'irradiation.

On explique généralement l'irradiation en disant que l'impression produite sur la rétine par une vive lumière s'étend autour de l'image. Mais cette explication n'est que l'exposé du fait lui-même.

Il me semble que si l'on prenait en considération les vibrations de l'éther, on pourrait trouver, sinon une explication rigoureuse, du moins une explication plus satisfaisante.

On sait que les couleurs rouge et jaune sont les plus voyantes; de là l'emploi des disques rouges comme signaux sur les voies ferrées. Mais les chiffres inscrits plus haut nous apprennent que si, pendant une seconde, les vibrations de l'éther qui produisent la lumière rouge se comptent par 497 trillions par seconde, celles qui produisent la lumière violette se comptent par un nombre beaucoup plus fort, 728 trillions.

Il est rationnel d'admettre que l'amplitude des oscillations qui produisent le rouge est beaucoup plus faible que l'amplitude

des oscillations qui produisent le violet, puisque leur nombre effectué en une seconde est moindre. Par suite, l'ébranlement produit par le rouge étant beaucoup plus grand, quoique moins rapide, s'étend à une plus grande distance dans la couche sensible de la rétine.

On peut objecter que la lumière blanche n'est pas formée seulement de rouge, d'orangé et de jaune; mais je ferai remarquer que ces couleurs sont les plus brillantes du spectre.

Cette explication a l'avantage de rapprocher les phénomènes de la vision de ceux de l'audition. La rétine est l'atmosphère vivante où se propagent les ondes lumineuses, atmosphère qu'on peut comparer à celle où nous sommes plongés et dans laquelle se propagent les ondes sonores. Or, chacun sait que l'intensité du son dépend de l'amplitude des vibrations, et qu'un son grave se fait entendre à une distance plus grande qu'un son aigu.

Persistance des impressions. — Quand un point lumineux passe rapidement devant l'œil, il produit une impression qui persiste, pendant une fraction de seconde, après le passage de ce point (1). Il est inutile ici d'insister sur les expériences qui sont basées sur ce fait et les applications qu'en a faites Lissajous dans l'acoustique.

(1) Plateau (*) a trouvé que :

- 1° La durée de la sensation est d'environ 0⁰,14 ;
- 2° La lumière doit agir pendant un certain temps pour que la rétine reçoive l'impression complète ;
- 3° L'impression maximum persiste, avant de décroître, pendant un temps d'autant plus long qu'elle a été *plus faible*; ce temps est moindre que 0⁰,008 pour un papier blanc exposé au grand jour ;
- 4° La durée totale de l'impression augmente en même temps que l'éclat de la lumière ;
- 5° L'impression ayant eu le temps de devenir plus complète, la durée totale diminue quand l'œil est plus longtemps impressionné, la sensibilité se trouvant émoussée.

(*) *Annales de chimie et de physique*, t. LVIII.

Plateau a reconnu que la durée de l'impression augmente avec l'éclat de la lumière. Mais les recherches de M. J. Regnault (1) ont appris que les milieux réfringents de l'œil sont fluorescents ; ces milieux absorbent donc une partie des rayons les plus réfrangibles, de sorte qu'il y a accroissement relatif des rayons les moins refringables, c'est-à-dire ayant une moindre longueur d'onde. On pourrait encore, dans ce cas, comparer l'intensité de la lumière blanche à l'intensité du son provenant d'un concert produit par des instruments dont les uns rendent des sons graves et les autres des sons aigus. Les sons graves seuls en accroissent notablement l'intensité totale, car à une distance suffisante on les entend encore, tandis que les sons aigus sont étouffés. Je pense donc que la persistance des impressions dépend de l'amplitude des vibrations.

On appelle *achromatopsie* ou *daltonisme* l'insensibilité de la rétine pour certaines couleurs. La seconde expression, plus usitée que la première, rappelle le célèbre maître d'école et physicien anglais Dalton, qui était affecté de cette anomalie. L'achromatopsie peut exister pour les diverses couleurs du spectre, mais on ne l'a peut-être jamais observée pour les rayons jaunes. Je tiens à noter cette exception remarquable, parce qu'elle prouve que la rétine est le plus facilement impressionnée par des vibrations correspondant à des longueurs d'ondes beaucoup plus grandes que celles qui produisent les couleurs les moins voyantes du spectre.

L'achromatopsie est un état anomal plus commun peut-être qu'on ne le pense. Je distingue bien le bleu et le violet quand je vois simultanément ces deux couleurs ; mais, lorsqu'elles sont séparées, je ne les reconnais jamais avec certitude.

Parmi les couleurs composées, certaines flattent l'œil, d'autres l'impressionnent d'une manière désagréable. Ne voit-on pas dans ce fait une analogie entre la vision et l'audition ?

En effet, de même qu'aux diverses notes de la gamme correspondent des nombres de vibrations différents, de même aux

(2) *Gazette médicale*, 1859.

RABUTEAU.

12

couleurs du spectre correspondent des mouvements vibratoires de l'éther dont la rapidité et l'amplitude sont variables pour chacune d'elles. L'analogie se poursuit entre les couleurs composées et les accords. Mais la physique nous apprend que l'oreille n'est impressionnée d'une manière agréable par plusieurs sons produits simultanément lorsque les rapports entre les nombres de vibrations sont exprimés par des nombres simples. Tel est l'accord parfait qui correspond aux nombres 4, 5, 6, 8. N'en serait-il pas de même des couleurs? Tout est simple dans la nature, et l'on exposera peut-être un jour une vérité scientifique en disant :

Les couleurs simples sont les notes de la gamme, les couleurs composées en sont les accords.

