

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DE L'ŒIL NORMAL

a) Réfraction.

§ 138. — Sous le nom de réfraction de l'œil, on comprend l'état réfringent de cet organe au repos, c'est-à-dire en l'absence de tout acte d'accommodation. La réfraction de l'œil normal est telle que les rayons qui tombent parallèlement sur la cornée, se réunissent sur la rétine en une image nette. La rétine se trouve donc à la distance focale principale de l'appareil dioptrique de l'œil, elle en constitue le plan focal. Un tel état de réfraction se nomme *emmétropie* (1) *E* (Donders).

Pour pouvoir suivre le trajet des rayons à travers les milieux réfringents de l'œil, il faut connaître le rayon de courbure des surfaces réfringentes, leurs distances réciproques, ainsi que l'indice de réfraction de chacun des milieux. Avec ces données, on peut, par un calcul compliqué, déterminer le trajet des rayons d'une surface à l'autre jusqu'à la rétine. Mais pour la pratique et pour faciliter le calcul, Donders a construit un schéma simplifié, auquel il a donné le nom d'*œil schématique réduit* (fig. 285). Cet œil, d'une longueur axiale de 20 millimètres (*hb*), est constitué d'une seule substance réfringente d'un indice de réfraction égale à 4, 3, dont la face antérieure (qui représente la surface de la cornée) présente un rayon de courbure de 5 millimètres. Le centre de courbure (fig. 285, *k*) se trouve donc à 5 millimètres derrière la surface réfringente et à 15 millimètres en avant de la rétine, qui, elle, se trouve au foyer principal de l'œil (20 millimètres). Comme il n'y a qu'une surface réfringente, son centre de courbure est en même temps le point nodal de l'œil. Celui-ci est donc le point qui possède cette propriété, que les rayons qui y passent ne subissent pas de déviation (axes secondaires, rayons de direction). — Cet œil schématique présente des différences très notables avec l'œil humain, dont la

(1) De ἑμμετρος, et ὠψ, vue à mesure normale.

distance focale principale (longueur axiale) est d'environ 24 millimètres, tandis que celle de l'œil schématique n'est que de 20 millimètres. Comme on y a supprimé le cristallin, on a dû, pour obtenir une réfringence suffisante, porter le rayon de courbure de la surface antérieure à 5 millimètres, tandis que le rayon de courbure moyen de la cornée est de 7 mm. 5. Cependant, en calculant avec cet œil la grandeur des images rétinienne, les cercles de diffusion, etc., on obtient des résultats qui se rapprochent sensiblement de ceux qu'on a trouvés pour l'œil véritable. Pour la pratique, on peut donc, sans difficulté, prendre l'œil schématique comme base du calcul.

Le calcul que l'oculiste praticien doit le plus souvent faire, concerne la grandeur de l'image rétinienne d'un objet déterminé. Pour faire ce calcul,

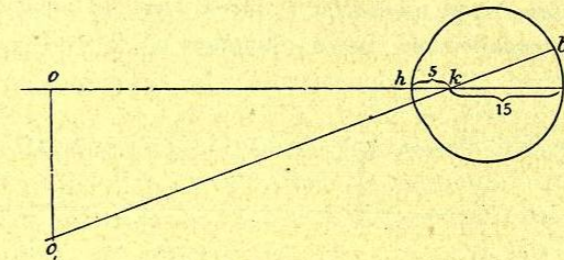


FIG. 285. — Œil schématique réduit de Donders.

il faut connaître la grandeur de l'objet et la distance de cet objet à l'œil. On trouve l'image rétinienne d'un objet en traçant les axes secondaires qui, partant des extrémités de l'objet *oo'* (fig. 285), passent par le point nodal *k* et rencontrent la rétine en *b* et *b'*; *bb'* est donc l'image rétinienne de *oo'*. Les triangles *oo'k* et *bb'k* sont semblables, et l'on a $bb' : oo' = bk : ok$, d'où $bb' = \frac{oo' \times bk}{ok}$. Représentons la grandeur de l'image (*bb'*) par *B*, celle de l'objet (*oo'*) par *O*, et la distance de l'objet à l'œil (*ok*) par *E*, alors on a $B = \frac{O \times 15^{mm}}{E}$. Ainsi, la grandeur de l'image rétinienne est en raison directe de celle de l'objet et en raison inverse de la distance de l'objet à l'œil. Par exemple, un bâton de 1 mètre de hauteur, placé à la distance de 15 mètres de l'œil, donnerait une image dont la hauteur serait $B = \frac{1.000^{mm} \times 15^{mm}}{15.000^{mm}} = 1$ millimètre. Le même bâton placé à un tiers de cette distance donnerait une image rétinienne de $\frac{1.000^{mm} \times 15^{mm}}{5.000^{mm}} = 3$ millimètres, c'est-à-dire trois fois aussi grande que dans la première expé-

rience. — On emploie souvent cette méthode de calcul pour se rendre compte de l'étendue d'un champ rétinien malade, qui projette dans le champ visuel un scotome, dont la grandeur peut être déterminée par l'examen. Dans ce cas, le scotome est considéré comme l'objet dont on veut calculer l'image.

b) Acuité visuelle.

§ 139. — La vue est d'autant plus perçante qu'elle est capable de reconnaître de plus petits objets ou un objet de grandeur déterminée à une plus longue distance. Supposons l'œil en état de reconnaître encore l'objet ab (fig. 286) à la distance ak . Un autre œil, meilleur que celui-ci, reconnaît encore l'objet quand on le place à une distance double, $a'k$. Dans ce cas, la grandeur de l'image rétinienne $\alpha\beta$ est réduite à la moitié

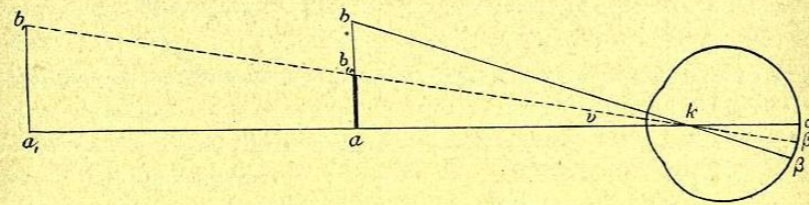


FIG. 286. — Angle visuel d'objets de grandeur et d'éloignement différents.

de la première ($\alpha\beta$), et l'acuité visuelle du second œil est double de celle du premier. Au lieu de reculer l'objet ab à une distance double, on pourrait le laisser en place et le réduire à la moitié de sa grandeur ab'' . Dans ce cas, encore, la grandeur de l'image rétinienne est réduite de moitié. Dans les deux cas, l'image rétinienne est la même, puisque l'angle v ne change pas. Cet angle est formé par les rayons qui, partant des extrémités de l'objet, aboutissent à la rétine en passant par le point nodal. On l'appelle *angle visuel*, et il donne exactement la mesure de l'acuité visuelle. — Pour déterminer l'acuité visuelle, c'est-à-dire le plus petit angle visuel, d'après l'exemple ci-dessus, deux voies sont ouvertes, et on les utilise toutes deux. Ainsi, on peut prendre un objet de grandeur déterminée et l'éloigner de l'œil jusqu'au moment où l'on ait atteint les limites de la vue distincte. C'est ce qu'on fait, par exemple, quand on examine à quelle distance un œil est en état de compter les doigts. Le second procédé s'applique à une distance invariable. On tient devant l'œil des objets de grandeurs diverses, et on recherche les plus petites dimensions que l'objet puisse avoir sans cesser d'être encore reconnu. C'est la méthode que l'on

suit quand on mesure l'acuité visuelle au moyen de caractères d'impression.

Quels sont les objets les plus propres à l'examen de l'acuité visuelle ? Un point unique, que l'on place à différentes distances devant l'œil, n'est pas utilisable pour cette recherche, puisque la visibilité d'un point dépend moins de l'angle visuel qu'il forme que de l'éclairage. Les étoiles fixes les plus brillantes, même vues avec les plus puissants télescopes, ne sont que des points mathématiques ; leur angle visuel est donc égal à zéro, et malgré cela, elles se voient si distinctement. Chacun se souvient d'avoir vu la croix d'une tour d'église briller sous l'éclat du soleil couchant, et cela à des distances où l'on reconnaissait encore à peine la tour elle-même. Ainsi donc, au lieu de prendre un point, on en prend deux (ou deux lignes parallèles), et l'on détermine la plus grande distance à laquelle on puisse encore les percevoir isolés. D'après cela, on peut facilement calculer le plus petit angle visuel, qui est de 1' environ pour un œil normal. C'est en se basant sur cette détermination, que Snellen a construit ses échelles optotypiques. Ce sont des lettres alignées de diverses grandeurs. Chaque ligne est formée de caractères de mêmes dimensions et surmontée d'un chiffre. Ce chiffre indique la distance en mètres à laquelle chacune des lettres d'une ligne doit être reconnue par un œil normal. Ainsi, la lettre F , par exemple (fig. 287), est empruntée à la ligne surmontée du chiffre 12 ; elle doit donc pouvoir être lue à la distance de 12 mètres. Elle est, comme toutes les lettres du tableau, inscrite dans un carré, dont les côtés sont divisés en cinq parties par des lignes divisionnaires. Les dimensions sont choisies telles que le carré, dans sa totalité, se voit à la distance donnée (à la distance de 12 mètres, dans l'exemple choisi) sous un angle de 5'. Il s'ensuit que chaque carré divisionnaire est vu sous un angle de 1', qui est le plus petit angle visuel pour un œil normal. A la grandeur des carrés divisionnaires, correspondent les détails dont dépend le déchiffrement de toute la lettre. Le chiffre qui la surmonte indique donc la distance à laquelle cette lettre est vue sous un angle de 5', les détails sous un angle de 1', c'est par conséquent la distance où un œil normal reconnaît la lettre. Il verra la lettre F (fig. 287) à la distance de 12 mètres, et son acuité visuelle sera $V = \frac{12}{12} = 1$. D'ordinaire,

N° 12

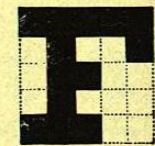


FIG. 287. — Une lettre des échelles de Snellen.

ou place l'œil à examiner toujours à la même distance du tableau, d'habitude à la distance de 6 mètres. Si, à cette distance, il reconnaît la rangée inférieure, dont la suscription est 6, il a $V = \frac{6}{6} = 1$; si, par exemple, il

ne lit que la première rangée portant le n° 60, alors il a $V = \frac{6}{60} = \frac{1}{10}$.

Donc on a toujours $V = \frac{d}{D}$, expression où d représente la distance à laquelle on lit, D le numéro de la rangée qui est lue.

On détermine l'acuité visuelle à l'aide d'échelles visuelles, placées à 6 mètres, pour exclure l'accommodation qui viendrait compliquer l'examen. Mais l'accommodation intervient d'autant plus dans l'examen de la vue de près, qui se fait au moyen de fins caractères, notamment avec les petits caractères-types de Jäger ou de Snellen. Ici encore, il est possible de procéder de deux façons : en déterminant soit le plus fin caractère qui peut être lu, soit la plus courte et la plus longue distance auxquelles il est lu. La plus petite distance nous donne l'accommodation que possède l'œil examiné, tandis que la plus grande distance dépend de sa réfraction et de son acuité visuelle. La figure 286 démontre que les images rétinienne deviennent d'autant plus petites que l'objet s'éloigne davantage de l'œil ; pour arriver à les reconnaître, il faut donc posséder une acuité visuelle proportionnellement plus grande. Inversement, les images rétinienne grandissent avec le rapprochement de l'objet. C'est pour ce motif que nous tenons les objets d'autant plus près des yeux qu'ils sont plus petits. Les yeux fortement myopes ne possèdent souvent qu'une acuité visuelle déficiente, et pourtant le vulgaire les tient pour excellents, parce qu'ils peuvent distinguer des objets exceptionnellement fins. Mais cela vient de ce qu'ils peuvent les regarder à une fort petite distance. Les personnes dont l'acuité visuelle est déficiente sont portées à rapprocher extraordinairement les objets, pour en obtenir des images aussi grandes que possible et pour regagner ainsi ce que les images perdent en netteté ou la rétine en sensibilité. Souvent ces personnes sont considérées à tort comme très myopes.

Lorsque l'acuité visuelle a tellement baissé que les plus grandes lettres des tableaux de Snellen ne sont plus reconnues à la distance de 6 mètres, alors le patient doit s'en rapprocher ; ou bien, au lieu de lettres, on prend des objets plus faciles à reconnaître, par exemple les doigts étendus, et l'on examine à quelle distance ils peuvent être comptés. Si l'acuité visuelle est plus mauvaise encore, les mouvements de la main devant les yeux sont seuls reconnus. Quand ces mouvements eux-mêmes ne sont plus vus, de façon que l'œil ne distingue plus que la clarté de l'obscurité, on dit que l'œil a perdu la vision qualitative, il ne lui reste plus que la vision quantitative, c'est-à-dire la simple perception de la lumière (au sujet de l'examen de celle-ci, voir § 156).

Ce furent Kùchler (1843) et Arlt (1844) qui introduisirent les premiers,

comme mesure de l'acuité visuelle, des caractères de grandeurs différentes mesurés en lignes). Dix ans plus tard, Jäger édita ses échelles visuelles, qui furent bientôt universellement adoptées et qui aujourd'hui sont fréquemment employées. Pratiquement, elles sont très utiles, car elles présentent un grand nombre de degrés dans la grandeur des caractères ; mais nul principe scientifique n'avait présidé à leur confection ; dans une nouvelle édition récemment parue, il a été tenu compte de cette objection. Ce sont les échelles de Snellen qui sont actuellement les plus répandues. Snellen a admis, comme base de ses tableaux, que le plus petit angle visuel pour l'œil sain est celui de 1', de façon que le n° 6 de ses caractères, dont les détails, à 6 mètres, paraissent sous un angle de 1', sera encore lu couramment à cette distance. Il a donc pris $V = 6/6$ comme l'expression de l'acuité visuelle normale. L'on ne doit pas croire pourtant que ce soit là absolument la plus grande acuité visuelle qui se rencontre. En effet, la plupart des yeux de jeunes gens voient le n° 6 à une plus grande distance, à 12 mètres et même au delà, de sorte que leur acuité visuelle est $V = 12/6 = 2$ et même davantage. L'acuité visuelle $V = 6/6$ ne doit donc être considérée que comme le minimum de ce qu'on peut exiger d'un œil normal. Lorsque l'acuité visuelle descend en dessous de ce minimum, l'œil ne peut déjà plus être regardé comme absolument normal. Les yeux des personnes âgées font exception à cette règle. Sans être malades, ces yeux ne possèdent pas une acuité visuelle égale à 6/6. Cela tient principalement à ce que, chez les personnes d'un certain âge, les milieux réfringents sont moins transparents, et spécialement le noyau du cristallin devient très foncé et tout le cristallin irrégulièrement réfringent.

Pour ne pas devoir reculer au delà de 6 mètres, les personnes dont l'acuité visuelle est $> 6/6$, Snellen a ajouté à ses tableaux les numéros 5 jusqu'à 2. Ils peuvent, d'ailleurs, servir dans le cas où le médecin, au lieu d'une chambre de 6 mètres, n'en a à sa disposition qu'une de 5 ou de 4 mètres. Pour les personnes qui ne peuvent pas lire, il existe des tableaux avec des chiffres ou des crochets. — Quand on détermine l'acuité visuelle, il faut aussi tenir compte de l'éclairage. L'éclairage artificiel des tableaux est ce qu'il y a de mieux, parce qu'on peut l'obtenir toujours égal, tandis que la lumière naturelle change d'après le temps et l'heure de la journée. Lorsque le temps est sombre, il faut comparer sa propre acuité visuelle au résultat trouvé chez le patient. Lorsque le médecin qui, par un bon éclairage, possède $V = 6/6$, n'a, par une journée sombre, que 6/9 (2/3), il doit aussi augmenter de 1/3 l'acuité visuelle trouvée chez son patient.

Les acuités visuelles trouvées au moyen des tableaux de Snellen s'expriment d'ordinaire sans réduction des fractions. Ainsi, l'on écrit $V = 6/60$ ou $V = 4/12$ et non pas $V = 1/10$ ou $1/3$. On agit ainsi pour faire voir en même temps par la fraction de quelle manière on a trouvé l'acuité visuelle, c'est-à-dire quels caractères ont été lus et à quelle distance.

Pour connaître l'acuité visuelle *absolue* d'un œil, il faut l'examiner dans un état de réfraction emmétrope et de relâchement complet de l'accommo-

dation. Pour obtenir ce relâchement, on fait regarder l'œil à l'infini. Mais, comme en pratique ce n'est pas possible, on se contente de faire regarder à l'examiné les tableaux de Snellen à la distance de 6 mètres. Les rayons tombant dans la pupille de cette distance forment un si petit angle, que, en pratique, on peut les regarder comme parallèles, c'est-à-dire comme venant de l'infini. Lorsque l'œil à examiner, au lieu d'être emmétrope, présente un vice de réfraction, il doit être rendu *E* au moyen de verres. L'acuité visuelle d'un œil amétrope sans verres n'en représente que l'acuité visuelle *relative* et ne donne absolument pas la mesure de la vue de l'œil en général.

c) **Accommodation.**

§ 140. — On tient devant l'œil un livre ouvert à la distance de 40 centimètres environ, et l'on présente un crayon, à égale distance, entre le livre et l'œil. Entre temps, l'autre œil doit rester fermé. On constate alors que l'impression et le crayon ne se voient jamais en même temps distinctement. On ne peut bien voir que l'impression ou la pointe, on a besoin

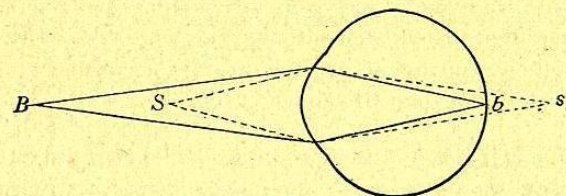


FIG. 288. — Lorsque l'œil est mis au point pour une distance déterminée *B*, les rayons émanant d'un point *S*, placé plus près, forment un cercle de diffusion sur la rétine.

d'un certain temps pour s'« accommoder » d'un objet à l'autre, et l'on sent alors un changement se produire dans l'œil. Ce changement, c'est l'accommodation qui tantôt se tend, tantôt se relâche, et qui modifie l'état dioptrique de l'œil.

Pourquoi, tandis que l'on fixe l'impression, ne voit-on pas distinctement le crayon qui se trouve plus en avant ? Parce qu'on le voit en *cercles de diffusion*. Qu'est-ce que cela signifie ? Lorsque l'œil est mis au point pour les rayons émis par le livre (*fig. 288*), ces rayons se réunissent au point *b* de la rétine. Au contraire, les rayons provenant du crayon *S*, situé plus près, sont plus divergents, et, l'état des milieux réfringents restant le même, ils sont donc rendus par ceux-ci un peu moins convergents ; ils se réuniraient donc en *s*, c'est-à-dire derrière la rétine. En fait, le cône formé par ces rayons est tronqué par la rétine. Cette sec-

tion transversale, qui représente l'image du point *S*, est circulaire, puisque la base du cône, qui est la pupille, est circulaire elle-même ; nous disons donc que le point *S* paraît sur la rétine sous forme d'un cercle de diffusion. Que la vue soit indistincte à cause des cercles de diffusion, c'est facile à comprendre. Supposons deux points assez distants l'un de l'autre et de l'œil, pour qu'ils projettent sur la rétine deux images punctiformes séparées (*fig. 289, A*) ; alors on voit facilement les deux points isolés. Par contre, lorsque, par suite d'une accommodation incorrecte, il se projette, à la place de chaque point, un cercle de diffusion sur la rétine, les deux cercles se recouvrent en partie (*fig. 289, B*), s'ils sont peu distants, et l'œil s' imagine ne voir qu'un seul point étiré en longueur. — Une ligne (*fig. 289, C*) vue en cercle de diffusion ne paraît pas distincte, mais élargie et trouble. On peut, en effet, considérer la ligne comme étant

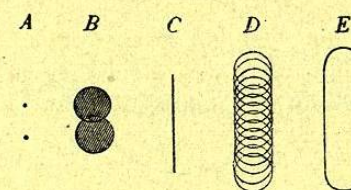


FIG. 289. — Cercles de diffusion.

formée par une infinité de points juxtaposés. Si chacun d'eux est vu sous forme d'un cercle de diffusion et que les cercles se recouvrent en grande partie (*D*), la ligne étroite devient une large bande (*E*).

L'œil voit toujours en cercles de diffusion les objets pour lesquels il n'est pas exactement accommodé ; mais les cercles de diffusion se produisent non seulement, comme dans l'exemple choisi, par suite d'une accommodation incorrecte, mais encore comme conséquence d'un défaut de réfraction, tel que la myopie et l'hypermétropie. Toute vue indistincte, résultant d'une anomalie de réfraction ou d'accommodation, est occasionnée par les cercles de diffusion. La vue est d'autant moins nette que les cercles de diffusion sont plus grands. Il faut donc se demander d'où dépend la *grandeur des cercles de diffusion*.

1° Les cercles de diffusion sont d'autant plus grands que le foyer des rayons provenant de l'objet est plus éloigné de la rétine. Supposons — dans l'expérience mentionnée ci-dessus — l'œil accommodé pour le livre, de façon que la pointe du crayon *S* (*fig. 290*) paraisse en cercles de diffusion. Si maintenant nous présentions encore un second objet *P* entre le livre et l'œil, plus rapproché de celui-ci que *S*, l'accommodation de

l'œil pour ce second objet s'écarterait davantage encore de ce qu'elle devrait être. Les rayons se couperaient encore plus loin derrière la rétine en p , et le cercle de diffusion serait d'autant plus grand. — On peut donc énoncer cette proposition : plus la mise au point est défectueuse, plus est grande la distance qui sépare la rétine du point de jonction des rayons, plus aussi le cône des rayons est coupé loin de son sommet par la rétine, et plus en est large la section transversale, c'est-à-dire le cercle de diffusion. — L'autre facteur qui influe sur la grandeur des cercles de diffusion est :

2° La largeur de la pupille. La pupille forme la base du cône. Le sommet étant également distant de la rétine, la section transversale du cône sera d'autant plus petite que la pupille sera moins large. Ainsi, lorsque la largeur de la pupille, de aa qu'elle était, devient bb (fig. 291), le cercle

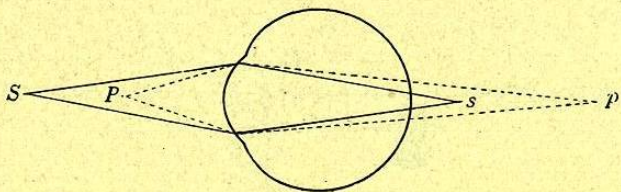


FIG. 290. — Grandeurs différentes des cercles de diffusion, suivant l'écart entre le foyer des rayons et la rétine.

de diffusion d'un point P se réduit en même temps de $a'a'$ en b' . Lorsque, de deux personnes myopes au même degré, l'une voit mieux que l'autre à l'œil nu dans le lointain, cela dépend de ce que les pupilles de la première sont plus étroites. Certains myopes s'imaginent souvent que, par les progrès de l'âge, leur myopie diminue parce qu'ils voient mieux au loin. Fréquemment, cela tient à ce que, par l'âge, la largeur des pupilles diminue. Les presbytes, qui sont forcés de lire de près sans verre convexe, recherchent un éclairage aussi puissant que possible afin d'obtenir la contraction de leurs pupilles et de diminuer ainsi les cercles de diffusion. On obtient ce résultat à un plus haut degré encore, en mettant devant l'œil une petite ouverture sténopéique. Cette ouverture ne laisse passer qu'un étroit faisceau de rayons et réduit ainsi tellement les cercles de diffusion qu'ils n'occasionnent plus aucun inconvénient. Lorsque, dans l'expérience ci-dessus, où l'on fixe en même temps le livre et le crayon, on regarde par une petite ouverture, on voit alors simultanément l'impression et la pointe. A l'aide du trou sténopéique, les myopes peuvent voir distinctement dans le lointain sans se servir de verres concaves.

La pupille, comme base du cône lumineux, ne détermine pas seulement

la grandeur des cercles de diffusion, mais encore leur forme qui est exactement celle de la pupille. C'est ainsi qu'on s'explique comment les personnes portant quelque irrégularité de la pupille (par exemple, par suite de synéchies postérieures) se rendent parfaitement compte entoptiquement de cette forme irrégulière.

En exécutant l'expérience ci-dessus au moyen du livre et du crayon, on s'aperçoit que ce n'est que moyennant un certain effort que l'œil parvient à s'accommoder alternativement du livre plus éloigné pour le crayon plus rapproché. Cet effort se sent aussi, mais moins distinctement, quand, par le relâchement de l'accommodation, le regard se reporte de nouveau sur le livre. On peut conclure de ce fait, que le changement s'opérant dans l'œil qui regarde alternativement un point éloigné, puis un point rapproché, constitue un processus actif, un effort musculaire, qui est pré-

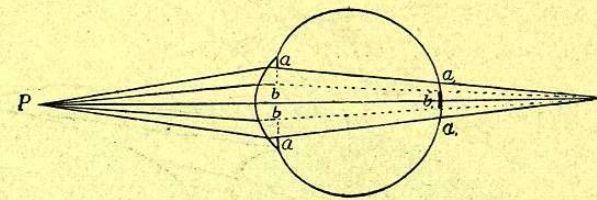


FIG. 291. — Grandeurs différentes des cercles de diffusion suivant les variations de grandeur de la pupille.

cisément ce que l'on appelle l'accommodation. Le relâchement de l'accommodation, par lequel l'œil est de nouveau mis au point pour voir au loin, constitue le repos du muscle tantôt contracté. En état de repos complet, l'œil emmétrope est accommodé pour l'infini. Telle est l'accommodation de l'œil lorsque le nerf oculo-moteur est paralysé ou que le muscle ciliaire est artificiellement relâché complètement par l'atropine.

Le mécanisme de l'accommodation a été fixé surtout par les expériences de Helmholtz. L'accommodation dépend de l'élasticité dont le cristallin est doué, et grâce à laquelle il tend constamment à se rapprocher de la forme sphérique. Dans l'œil vivant, le cristallin est renfermé dans la capsule, reliée au corps ciliaire par l'intermédiaire des fibres de la zonule de Zinn. Ces fibres sont très tendues et exercent par conséquent sur la capsule, de tous les côtés, un tiraillement uniforme, qui l'aplatit en même temps que le cristallin. L'élasticité de celui-ci ne peut se manifester que pour autant que les fibres de la zonule de Zinn soient relâchées. Cet état se réalise le plus complètement lorsque celles-ci sont rompues. Lorsqu'on enlève le cristallin de l'œil d'un jeune individu, on le voit, dès qu'on en rompt les attaches, prendre une forme sphéroïdale. On observe