leurs propres. Une gravure coloriée qu'on appliquait sur la plaque sensible s'y reproduisait avec ses blancs, ses noirs et ses diverses teintes.

Mais ces épreuves colorées sont plus ou moins fugaces : dès qu'on les expose à la lumière diffuse, les couleurs s'altèrent et

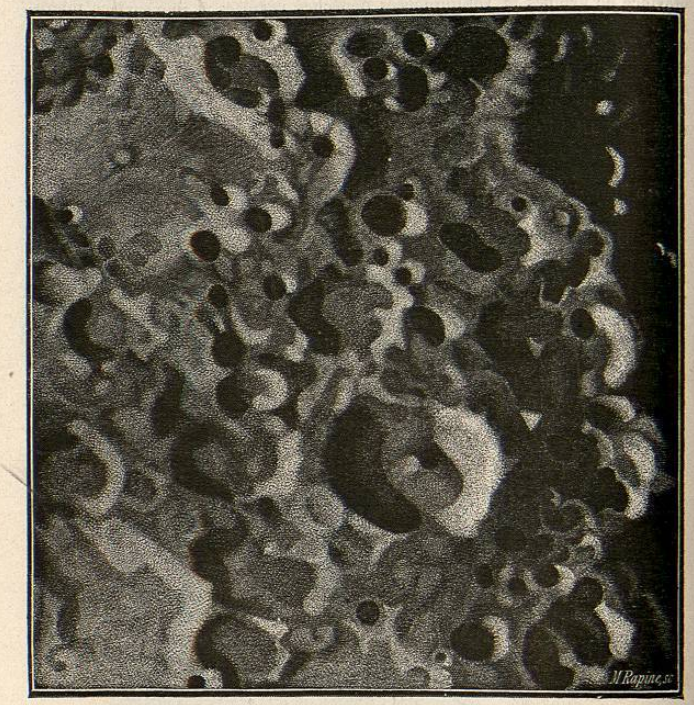

Fig. 615.

s'effacent plus ou moins rapidement. C'est là le desideratum commun à toutes les solutions directes du problème de l'héliochromie.

2° *Procédés indirects.* — Une solution indirecte, proposée dès 1869 par MM. Ch. Cros et Ducos du Hauron, séparément, a été perfectionnée par M. Cros. Si l'on tamise la lumière émise par un objet lumineux, à l'aide d'une solution qui ne laisse passer que les couleurs d'une certaine région du spectre, par exemple le rouge orangé, on obtiendra une image négative particulière. Si l'on éclaire ensuite cette image avec la lumière correspondante, on aura, en la regardant par transparence, la même sensation que si l'on regardait l'objet

lui-même à travers un verre de cette couleur. Supposons qu'on prépare de la même manière deux autres négatifs, l'un avec les rayons de la région jaune, et l'autre avec ceux du bleu violet. En superposant ensuite les trois sensations, données par chacune de ces épreuves éclairées par transparence, on a une sensation résultante, qui rappelle sensiblement la coloration de l'objet réel. Cette superposition peut s'obtenir, soit par des réflexions simultanées de trois épreuves sur des glaces sans tain, soit en préparant successivement sur une même feuille trois positifs, correspondant successivement aux trois négatifs, et colorés chacun avec des pigments convenables.

CHAPITRE XI

VISION [1].

548. **Structure de l'œil humain.** — L'*œil* est l'organe de la *vision*. La vision est le phénomène en vertu duquel la lumière émise ou réfléchie par les corps fait naître en nous la sensation qui nous décèle leur présence.

Situé dans une cavité osseuse qu'on nomme *orbite*, l'œil est maintenu par les muscles qui servent à le mouvoir, par le nerf optique, la conjonctive, les paupières et l'aponévrose orbito-oculaire. Tous ces moyens, en lui assurant une contention solide, lui permettent des mouvements très variés et très étendus. Son volume est à peu près le même chez tous les individus : l'ouverture des paupières, qui est variable, le fait seul paraître plus ou moins volumineux.

Sa forme générale est celle d'un sphéroïde dont la courbure à la partie antérieure est plus grande qu'à la partie postérieure. Il est composé de plusieurs membranes et de milieux analogues aux diverses pièces d'un instrument d'optique (fig. 616). Ce sont : la *cornée*, la *sclérotique*, l'*iris*, l'*humeur aqueuse*, le *cristallin*, le *corps vitré*, la *membrane hyaloïde*, la *choroïde*, la *rétine*, le *nerf optique*.

Cornée. — La cornée *a* est une membrane transparente située en avant du globe de l'œil. Elle a sensiblement la forme d'une petite calotte sphérique ayant une base de 11 à 12 millimètres de diamètre et un rayon de courbure de 8 millimètres. Sa circonférence, taillée en biseau aux dépens de sa face externe, s'enchâsse dans la sclérotique *i*, et l'adhérence de ces deux membranes est

1. Ce chapitre a été revu, pour la seconde fois, et corrigé d'après les conseils et conformément aux travaux du Dr Javal, médecin-oculiste, directeur du laboratoire d'ophthalmologie à l'École pratique des hautes études (Sorbonne).

telle, qu'elles ont été considérées par quelques anatomistes comme une seule et même membrane.

Sclérotique. — La sclérotique *i* est une membrane blanche qui, avec la cornée, enveloppe toutes les parties constituantes de l'œil. Elle présente, à la partie antérieure, une ouverture à peu près circulaire, dans laquelle est enchâssée la cornée; à la partie pos-

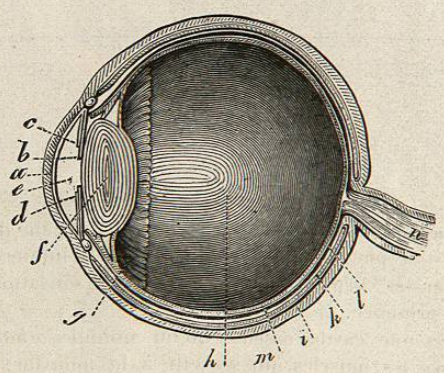

Fig. 616.

térieure et interne, elle est perforée pour donner passage au nerf optique.

Iris. — L'iris *d* est un diaphragme annulaire, opaque, adhérent par son périmètre extérieur, et libre par son bord central. Cette membrane est placée entre la cornée et le cristallin. C'est elle qui forme la partie colorée de l'œil; elle est percée, non pas à son centre, mais un peu en dedans, d'une ouverture qu'on nomme *pupille*, et qui chez l'homme est *circulaire*. Chez quelques animaux, elle est étroite et allongée dans le sens *vertical*, particulièrement chez ceux du genre *felis*, et dans le sens *transversal* chez les ruminants. C'est par la pupille que les rayons lumineux pénètrent dans l'œil. Son diamètre, variable pour un même individu, est en moyenne de 3 à 5 millimètres; mais ces limites peuvent être dépassées. Les alternatives d'agrandissement et de resserrement de la pupille s'opèrent rapidement; elles sont fréquentes et jouent un rôle important dans le phénomène de la vision. La pupille se contracte sous l'influence d'une vive lumière; elle se dilate au contraire dans l'obscurité. *Les mouvements de l'iris sont involontaires.*

D'après ce qui précède, l'iris est un écran à ouverture variable, dont la fonction est de régler la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil, puisque la grandeur de la pupille varie en sens contraire de l'intensité de la lumière. L'iris sert encore à corriger l'aberration de sphéricité, en empêchant les rayons marginaux de traverser les bords du cristallin, c'est-à-dire qu'il remplit, à l'égard de l'œil, le rôle du diaphragme dans les instruments d'optique.

Humeur aqueuse. — Entre la partie postérieure de la cornée et la partie antérieure du cristallin est un liquide transparent qu'on appelle *humeur aqueuse*. L'espace *e*, occupé par cette humeur, semble partagé en deux compartiments par l'iris; la partie *b*, comprise entre la cornée et l'iris, se nomme *chambre antérieure;* la partie *c*, qui est entre l'iris et le cristallin, est la *chambre postérieure;* mais l'existence de la chambre postérieure est contestée.

Cristallin. — Le cristallin est un corps lenticulaire *f*, placé derrière l'iris et au contact de cette membrane. Remarquable par sa transparence, le cristallin est enveloppé dans une membrane diaphane comme lui, qu'on nomme sa *capsule*, et qui adhère par son bord à la couronne annulaire formée par les *procès ciliaires g*. Sa face antérieure a une convexité moindre que la face postérieure. Son tissu est composé d'une suite de lamelles à peu près concentriques, plus dures au centre qu'à la circonférence. Les couches les plus superficielles ont une mollesse telle, qu'elles sont presque à l'état liquide. On leur a donné le nom d'*humeur de Morgani*. Leur pouvoir réfringent décroît du centre à la périphérie.

Remarque. — *Opération de la cataracte.* — La substance transparente du *cristallin* peut devenir *opaque* par suite d'une maladie de l'œil nommée *cataracte*. Cette opacité provoque une cécité partielle ou complète, suivant qu'elle se produit dans l'un des yeux ou dans les deux. L'opération, dite *de la cataracte*, consiste dans la suppression, par différents moyens chirurgicaux, de ce cristallin opaque, devenu un obstacle matériel à l'entrée de la lumière dans l'œil.

Corps vitré, membrane hyaloïde. — On appelle *corps vitré*, ou *humeur vitrée*, une masse transparente, comparable à l'albumine de l'œuf, qui occupe toute la partie *h* du globe de l'œil située en arrière du cristallin. Le corps vitré est enveloppé par la *membrane hyaloïde l*, qui tapisse la face postérieure de la capsule cristalline et toute la face interne d'une autre membrane qu'on nomme *rétine*.

Rétine, nerf optique, tache jaune. — La *rétine m* est une membrane destinée à recevoir l'impression de la lumière et à la trans-

mettre au cerveau par l'intermédiaire d'un nerf *n*, nommé le *nerf optique*, qui s'épanouit sur la rétine sous la forme d'un réseau et met cette membrane en communication avec le cerveau. La partie la plus sensible de la rétine porte le nom de *tache jaune* ou *macula lutea*. Le centre de cette tache possède le maximum de sensibilité; on appelle ce point *fovea centralis*.

Remarques. — 1° La rétine et le nerf optique ne jouissent que de la propriété spéciale de recevoir et de transmettre au cerveau l'impression des images. La blessure de ces organes produit des sensations lumineuses.

2° La découverte du *rouge rétinien*, faite par Boll, démontre qu'il se passe dans le rétine des phénomènes chimiques qui rendent plus complète encore l'assimilation classique de l'œil à une chambre noire photographique.

Choroïde. — La choroïde *k* est une membrane interposée entre la rétine et la sclérotique, Elle est essentiellement vasculaire et recouverte, sur sa face interne principalement, d'une matière noire, semblable au pigment de la peau des nègres, qui est destinée à absorber les rayons qui ne doivent pas coopérer à la vision.

La choroïde se prolonge en avant en formant une suite de replis saillants *g*, qu'on nomme *procès ciliaires*, et qui s'engagent entre l'iris et la capsule cristalline, à laquelle ils adhèrent, en formant autour d'elle un disque assez comparable à celui d'une fleur radiée.

549. **Indices de réfraction des milieux transparents de l'œil.** — Les indices de réfraction des milieux transparents de l'œil ont été déterminés par Brewster. Ils sont réunis dans le tableau suivant, avec celui de l'eau comme terme de comparaison.

Eau.	1,3358	Enveloppe extérieure du cristallin.	1,3767
Humeur aqueuse.	1,3366	Centre du cristallin.	1,3990
Humeur vitrée.	1,3394	Réfraction moyenne du cristallin.	1,3839

550. **Marche des rayons dans l'œil.** — D'après les diverses parties qui composent l'œil, on peut comparer cet organe à une chambre obscure dont la pupille serait l'ouverture, le cristallin la lentille convergente, et la rétine l'écran sur lequel va se peindre l'image. L'effet est donc le même que celui par lequel se forme, au foyer conjugué d'une lentille biconvexe, l'image d'un objet placé en avant de la lentille. Soit, en effet, un objet AB (fig. 617) placé en avant de l'œil, et considérons les rayons émis d'un point quelconque A de cet objet vers l'œil. A leur entrée dans l'humeur aqueuse, ils éprouvent une première réfraction qui les rapproche de l'axe A*a*, mené par le centre optique du cristallin; puis ils rencontrent le cristallin, qui les réfracte de nouveau comme une

lentille biconvexe; et enfin, après avoir subi une dernière réfraction dans l'humeur vitrée, ils vont concourir en un point *a* et y former l'image du point A. Les rayons partis du point B allant de

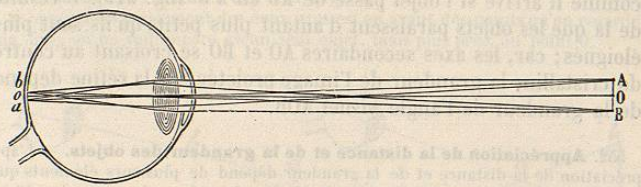

Fig. 617.

même former en *b* l'image de ce point, il en résulte une image *ab* très petite, réelle et renversée, qui se forme exactement sur la rétine quand l'œil est bien conformé.

551. **Ligne visuelle. — Angle des lignes visuelles. — Angle visuel.** — On nomme *ligne visuelle*, la ligne qui joint le point lumineux qu'on regarde à la *fovea centralis*. Cette ligne ne coïncide pas exactement avec l'axe de figure de l'œil.

On appelle *angle des lignes visuelles* l'angle *f*A*f'* (fig. 618)

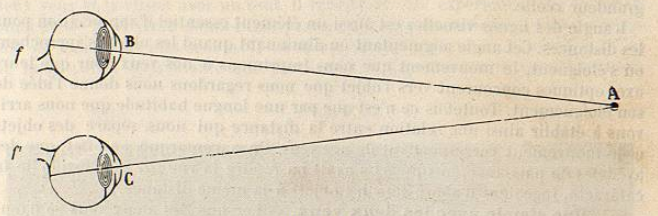

Fig. 618.

formé par les deux lignes visuelles qui correspondent à un même point lumineux A.

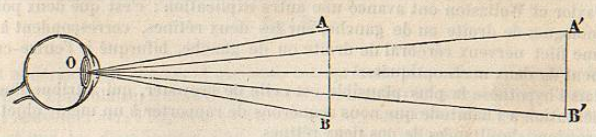

Fig. 619.

L'*angle visuel* est l'angle AOB (fig. 619) sous lequel est vu un objet AB; il est formé par les axes secondaires menés du centre

optique du cristallin aux extrémités opposées de l'objet. Pour une même distance, cet angle croît avec la grandeur de l'objet, et, pour un même objet, il décroît quand la distance augmente, comme il arrive si l'objet passe de AB en A'B' (fig. 619). Il résulte de là que les objets paraissent d'autant plus petits qu'ils sont plus éloignés; car, les axes secondaires AO et BO se croisant au centre du cristallin, la grandeur de l'image projetée sur la rétine dépend de la grandeur de l'angle visuel AOB.

552. **Appréciation de la distance et de la grandeur des objets.** — L'appréciation de la distance et de la grandeur dépend de plusieurs éléments qui sont : l'angle des lignes visuelles, l'angle optique, la comparaison avec des objets dont la grandeur nous est familière, la diminution de netteté de l'image par l'interposition d'un air plus ou moins vaporeux.

Lorsque la grandeur d'un objet est connue, comme la taille d'un homme, la hauteur d'un arbre ou d'une maison, on en apprécie la distance par l'ouverture de l'angle visuel sous lequel on le voit. Si la grandeur de l'objet est inconnue, on la juge relativement à celle des objets qui l'entourent.

Une colonnade, une avenue d'arbres, nous paraissent diminuer de grandeur à mesure que leur distance augmente, parce que l'angle visuel décroît; mais l'habitude de voir des colonnes, des arbres, avec la hauteur qui leur convient, fait que notre jugement rectifie l'apparence produite par la vision. De même, quoique des montagnes fort éloignées soient vues sous un fort petit angle et n'occupent qu'un faible espace dans le champ de la vision, comme nous sommes habitués aux effets de perspective aérienne, nous leur restituons instinctivement leur grandeur réelle.

L'angle des lignes visuelles est aussi un élément essentiel d'appréciation pour les distances. Cet angle augmentant ou diminuant quand les objets s'approchent ou s'éloignent, le mouvement que nous imprimons à nos yeux pour que leurs axes optiques concourent vers l'objet que nous regardons nous donne l'idée de son éloignement. Toutefois ce n'est que par une longue habitude que nous arrivons à établir ainsi une relation entre la distance qui nous sépare des objets et le mouvement correspondant de nos yeux. On a remarqué, en effet, que des aveugles de naissance, auxquels on avait pu rendre la vue par l'opération de la cataracte, jugeaient d'abord tous les objets à la même distance.

553. **Vue simple avec les deux yeux.** — Lorsque les deux yeux se fixent sur un même objet, il se forme sur chaque rétine une image, et cependant nous ne voyons qu'un objet. Pour expliquer la vue simple avec les deux yeux, Gassendi admettait qu'à un même instant la perception n'a lieu que pour l'une ou l'autre image; mais cette hypothèse ne peut être admise depuis les expériences de Wheatstone, que nous rapportons plus loin (554).

Taylor et Wollaston ont avancé une autre explication : c'est que deux points homologues de droite ou de ganche, sur les deux rétines, correspondent à un même filet nerveux cérébral de droite ou de gauche, bifurqué à l'entre-croisement de deux nerfs optiques.

Mais l'hypothèse la plus plausible est celle de Brewster, qui attribue l'unité de sensation à l'habitude que nous acquérons de rapporter à un même objet les impressions simultanées de nos deux rétines.

Voici les principaux faits qui s'observent dans la vision binoculaire.

1° On voit plus clair avec deux yeux qu'avec un. En effet, si l'on regarde un objet d'abord avec un seul œil, puis avec les deux, la différence d'éclat est sensible.

2° Lorsque les deux yeux sont fixés chacun sur un objet différent, de manière que les deux axes optiques concourent au delà ou en deçà de ces objets, il peut se produire des illusions d'optique remarquables. Par exemple, si l'on regarde deux objets identiques et de petites dimensions *a* et *b*, au moyen de deux tubes isolants qui donnent aux axes optiques de deux yeux les directions concourantes *a*O et *b*O (fig. 620), on ne voit qu'un objet unique, mais plus éloigné, au point de rencontre O des deux axes.

Si le point de croisement des deux axes est en avant des points qu'on regarde (fig. 621), on ne voit encore qu'un seul objet, mais plus près, au point O.

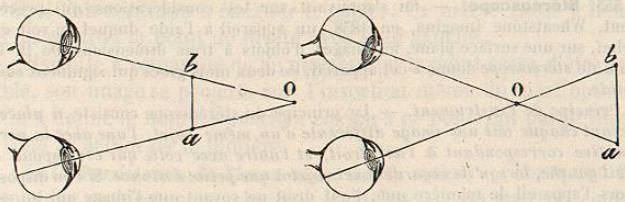

Fig. 620. Fig. 621.

Si les objets *a* et *b* sont deux petits disques, l'un rouge et l'autre vert, on voit un disque blanc, le vert et le rouge étant deux couleurs complémentaires. Ces diverses expériences démontrent que les impressions dans les deux yeux sont simultanées et se superposent pour donner une sensation unique.

554. **Cause du relief apparent des corps.** — On doit à Wheatstone des expériences qui montrent une différence essentielle entre la vision avec les deux yeux et la vision avec un seul. Il résulte de ces expériences que la vision binoculaire peut seule donner une perception nette du *relief* des corps, c'est-à-dire de leurs trois dimensions. Il est même certain qu'avec un seul œil le relief ne nous paraît appréciable que parce que les objets que nous regardons nous

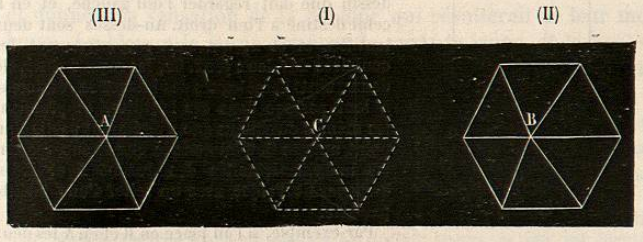

Fig. 622.

sont généralement connus et que nous interprétons les ombres. En effet, dans la vision binoculaire, quand l'objet est à une faible distance, les deux axes devant converger vers l'objet, il en résulte que la perspective change pour chaque œil et que les deux images sont sensiblemement inégales. C'est ce qu'il est facile de constater en regardant alternativement un même objet avec chaque œil. Par exemple, supposons qu'on regarde à vol d'oiseau une petite pyramide régulière C, à base hexagonale (fig. 622, I), en se plaçant de manière que la verticale menée par son sommet passe exactement entre les deux yeux.

Ceux-ci étant ouverts tous les deux, on la voit telle qu'elle est représentée dans la figure 622, I. Mais si, tout en conservant la même position, on ferme l'œil gauche, on voit alors la pyramide seulement avec l'œil droit, et les faces latérales de gauche paraissent plus en raccourci que celles de droite (fig. 622, II). Au contraire, si l'on ferme l'œil droit, le gauche aperçoit la figure 622, III, où ce sont les faces latérales de droite qui sont maintenant vues plus en raccourci. Il est donc démontré que les images perçues par les deux yeux ne sont pas identiques; il reste à constater par l'expérience que c'est bien de la perception simultanée de ces deux images que résulte le relief apparent des corps.

555. **Stéréoscope.** — En s'appuyant sur les considérations qui précèdent, Wheatstone imagina, en 1838, un appareil à l'aide duquel on voit en relief, sur une surface plane, les images d'objets à trois dimensions. De là le nom de *stéréoscope* donné à cet appareil, de deux mots grecs qui signifient *voir solide*.

Principe de l'instrument. — Le principe du stéréoscope consiste *à placer devant chaque œil une image différente d'un même objet, l'une avec la perspective correspondant à l'œil droit, et l'autre avec celle qui correspond à l'œil gauche, lorsqu'ils regardent cet objet à une petite distance.* Si l'on dispose alors l'appareil de manière que, l'œil droit ne voyant que l'image qui lui est destinée, et l'œil gauche l'autre, les deux images se superposent, il est évident qu'il doit se former sur chaque rétine exactement la même image que si l'on regardait l'objet lui-même. Et en effet, on obtient ainsi une perception tellement vive et distincte du relief, que l'illusion est complète et vraiment surprenante.

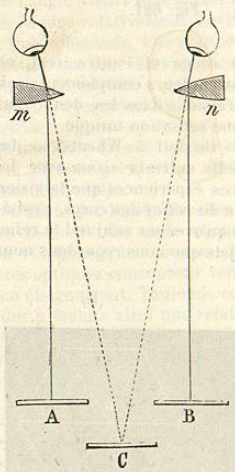

Fig. 623.

Dans le stéréoscope construit par Wheatstone, c'était par la réflexion sur deux miroirs plans qu'on obtenait la superposition des deux images. Mais dans le stéréoscope modifié par Brewster la superposition des deux images se produit à l'aide de deux lentilles convergentes.

Marche des rayons. — En A (fig. 623) est le dessin que doit regarder l'œil gauche, et en B celui destiné à l'œil droit. Au-dessus sont deux lentilles *m* et *n*, qui sont respectivement les oculaires des deux yeux. Or, les rayons partis de deux points homologues des images se réfractent à leur passage dans ces lentilles, et prennent les mêmes directions que s'ils étaient partis d'un point unique C. C'est donc là que se superposent les images virtuelles des dessins A et B, et qu'apparaît l'objet avec un relief d'une fidélité parfaite.

Par exemple, si l'on place en B et en A les deux figures 622, III, et 622, II, on apercevra en C une image unique et en relief de la pyramide, telle qu'elle est représentée dans la figure 622, I.

Usage des demi-lentilles. — Il est indispensable que les deux lentilles *m* et *n* impriment rigoureusement la même déviation aux rayons, et pour cela elles doivent être identiques. Brewster a atteint ce résultat en coupant en deux une lentille biconvexe, et en plaçant la moitié droite devant l'œil gauche, puis la moitié gauche devant l'œil droit (fig. 623).

556. **Partie insensible de la rétine : Punctum cæcum.** — La rétine n'est pas également sensible dans toutes ses parties, ainsi

que le prouve l'expérience suivante, due à Mariotte. On marque deux points noirs sur un papier blanc, à quelques centimètres de distance l'un de l'autre, puis, le papier étant très rapproché de l'œil, on fixe le point de gauche avec l'œil droit en fermant l'œil gauche, ce qui n'empêche pas de voir l'autre point; mais si l'on éloigne lentement le papier, le point de droite disparaît au moment où l'on atteint une certaine distance, pour reparaître bientôt si l'on continue à éloigner le papier. La même chose a lieu si l'on regarde le point de droite avec l'œil gauche.

Mariotte a remarqué qu'au moment où le point cesse d'être visible, son image se projette sur l'insertion même du nerf optique. On a donné le nom de *punctum cæcum* à ce point qui paraît insensible à l'action de la lumière.

557. **Persistance de l'impression sur la rétine.** — Lorsqu'on fait tourner rapidement un charbon incandescent, on aperçoit comme un ruban de feu contiuu; de même, la pluie qui tombe sous forme de grosses gouttes apparaît dans l'air comme une suite de filets liquides. Ces différentes apparences sont dues à ce que l'impression des images sur la rétine persiste encore après que l'objet qui l'a produite a disparu ou s'est déplacé. La durée de cette persistance varie avec la sensibilité de la rétine et l'intensité de la lumière. Plateau à Bruxelles, a trouvé qu'elle est en moyenne d'une demi-seconde.

L'impression des couleurs persiste aussi bien que celle de la forme des objets; car si l'on fait tourner des cercles divisés en secteurs peints de diverses couleurs, alors celles-ci se confondent et donnent la sensation de la couleur qui résulterait de leur mélange. Le bleu et le jaune donnent le vert; le jaune et le rouge, l'orangé; le bleu et le rouge, le violet; et la série des sept couleurs du spectre donne le blanc (disque de Newton (476, 5°).

Il existe plusieurs appareils curieux dont les effets s'expliquent par la persistance de la sensation sur la rétine. Tels sont le *thaumatrope*, le *phénakisticope*, la *roue de Faraday*, le *caléidophone*.

558. **Images accidentelles.** — Un objet coloré étant placé sur un fond noir, si on le regarde fixement pendant un certain temps, la vue est bientôt fatiguée, et l'intensité de la couleur s'affaiblit; dirigeant alors les yeux sur un carton blanc ou sur le plafond, on aperçoit une image de même forme que l'objet, mais d'une couleur complémentaire, c'est-à-dire qui formerait du blanc si elle était réunie à celle de l'objet. Pour un objet vert, l'image est rouge, et réciproquement; si l'objet est jaune, l'image est violette. Ces apparences colorées ont été signalées par Buffon, qui leur a donné le nom d'*images* ou de *couleurs accidentelles*.

Les couleurs accidentelles persistent d'autant plus longtemps, que l'objet observé a été plus vivement éclairé et que l'action de la lumière a été prolongée davantage. Elles ne s'éteignent pas, en général, d'une manière pro-