

les oiseaux et lisse chez les mammifères¹. En effet, les paralysies du moteur oculaire commun s'accompagnent de paralysies de l'accommodation².

B. L'iris est un véritable [diaphragme placé dans la chambre

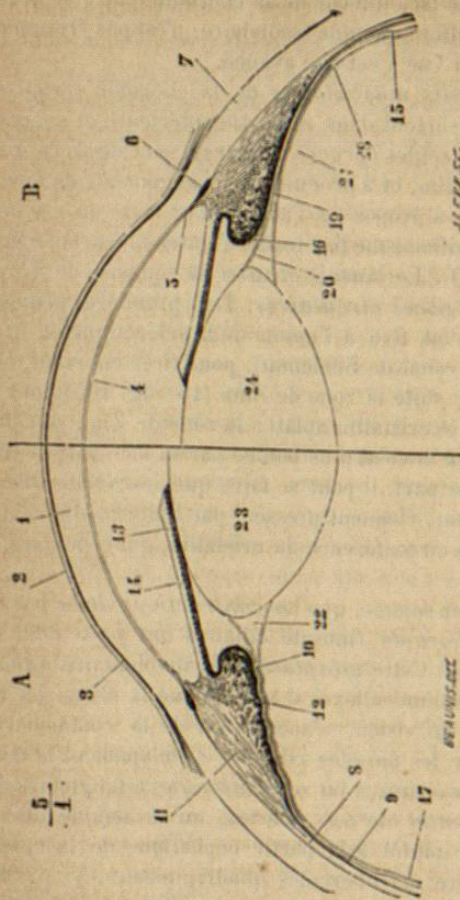


FIG. 165. — Mécanisme de l'accommodation.

A, Œil accommodé pour la vision des objets rapprochés; — B, œil dans la vision des objets éloignés; — 1, substance propre de la cornée; — 2, 3, épithélium antérieur de la cornée; 4, membrane de Demours; — 5, canal de Fontana; — 6, 7, sclérotique; — 8, choroïde; — 9, rétine; — 10, procès ciliaires; — 11, muscle ciliaire; — 12, ses fibres orbitales; — 13, 14, iris; — 15, 16, cristallin accommodé pour la vue des objets rapprochés (convexité de la face antérieure augmentée); — 17, cristallin accommodé pour la vue des objets éloignés; — 18, zone de Zinn; — 19, canal serratus; — 20, procès ciliaires; — 21, membrane hyaloïde; — 22, zone de Zinn; — 23, canal godronné, formé par le dédoublement de cette zone (19 et 20).

obscure que forme le globe oculaire; sa face antérieure est en contact avec l'humeur aqueuse et tapissée par un prolongement de la membrane de Descemet (de la face postérieure de la cornée,

¹ V. H. Chrétien. *La Choroïde et l'Iris*, thèse de concours, Paris, 1876.

² Dans des recherches récentes (Acad. des sciences, 8 juin 1891) Morat et Doyon, en expérimentant sur un lapin immobilisé par une injection de curare et en examinant les images de Purkinje, c'est-à-dire les images du miroir cornéen et du miroir cristallinien antérieur, ont constaté que la section du

V. fig. 165, en 4 et 13). Sa face postérieure est, avons-nous dit, immédiatement en contact avec la partie périphérique de la convexité antérieure du cristallin, de sorte que la prétendue *chambre postérieure* n'existe pas. La périphérie se continue avec la choroïde, dont ce diaphragme est une dépendance; son ouverture centrale correspond au centre du cristallin et constitue ce qu'on nomme la pupille.

Cette membrane a la structure de la choroïde; elle possède de nombreux vaisseaux, des cellules pigmentaires, qui forment également une couche épaisse à sa face profonde ou postérieure (*uvée*) et des fibres musculaires. Ce dernier élément est le plus important; il se compose de fibres disposées circulairement (sphincter de la pupille) et de fibres radiées (dilateur de la pupille); ces fibres sont innervées par deux nerfs différents, les circulaires par le *moteur oculaire commun* (racine motrice du ganglion ophtalmique, nerfs ciliaires), les radiées par le *grand sympathique*¹.

sympathique cervical produit une diminution dans les dimensions de l'image cristallinienne, tandis que l'excitation de ce cordon produit plus nettement encore un grandissement de cette image. C'est dire que cette excitation fait accommoder l'œil pour les distances éloignées, pour l'infini, par aplatissement du cristallin. Mais quel est le mécanisme de cette déformation? D'après ce qui est connu du muscle ciliaire, on ne voit aucune de ses parties qui puisse, par sa contraction, produire un tel effet sur le cristallin. Mais on peut admettre que sur ce muscle, comme sur plusieurs autres (intestin, pupille), le sympathique agit par inhibition, et on trouve en effet, dans le voisinage immédiat et dans l'épaisseur même du muscle ciliaire, un plexus ganglionnaire, c'est-à-dire des cellules nerveuses, éléments qui sont le siège des phénomènes nerveux dits d'arrêt ou d'inhibition.

¹ Aussi quand on coupe le cordon cervical du sympathique, produit-on, en même temps que l'hyperémie de la moitié correspondante de la tête (V. *Vasomoteurs*, ci-dessus, p. 256), le rétrécissement de la pupille (puisque les fibres dilatatrices sont alors paralysées et que le muscle constricteur se trouve sans antagoniste). Quelques auteurs avaient pensé devoir nier l'existence de fibres radiées (dilatatrices) de l'iris, et expliquer, par suite, le resserrement de la pupille consécutif à la section du cordon sympathique par une hyperémie, une véritable turgescence de ce diaphragme musculo-vasculaire. Mais les recherches de Fr. Franck (*Indépendance des changements du diamètre de la pupille et des variations de la circulation carotidienne*; *Compt. rend. Acad. des sciences*, 19 mai, 1879) ne laissent aucun doute sur cette question. Elles démontrent, en effet, que les variations importantes et durables de l'orifice pupillaire qu'on observe en excitant certains nerfs par voie directe ou réflexe ne sont pas subordonnées aux variations de la circulation; elles résultent de l'action des muscles de l'iris. Il est possible, en effet, d'obtenir des dilatations et des ressernements de l'iris indépendamment des modifications de la circulation; ainsi, quand on coupe le cordon cervical du sympathique au-dessous du ganglion cervical supérieur, on observe à la fois le resserrement de l'iris et la dilatation des vaisseaux carotidiens; mais si l'on sectionne seulement le prolongement anastomotique entre le ganglion cervical supérieur et le ganglion

La pupille se dilate quand l'objet fixé est très éloigné ou peu éclairé; elle se rétrécit dans les cas inverses (objet proche, lumière vive). Ces mouvements sont *lents*, parce que les fibres sont des fibres *musculaires lisses*, comme celles du muscle ciliaire : comme ceux de ce muscle, les mouvements de l'iris sont de nature réflexe et ont le même centre de réflexion (V. p. 98). Cependant l'iris paraît directement sensible à l'action de la lumière. La volonté est impuissante à produire le mouvement de l'iris, mais on peut y arriver par une voie détournée; on peut, par exemple, dilater la pupille en regardant un objet très éloigné, en regardant à l'infini, dans le vide; bien des fois, surtout dans les temps passés, on a employé ce simple détour pour donner aux yeux l'expression de l'*extase*, qui se caractérise par une grande dilatation de la pupille. Ces effets de dilatation ou de rétrécissement peuvent encore être produits par des agents médicamenteux précieux pour le médecin; la fève de Calabar rétrécit, la belladone dilate la pupille.

La pupille est encore dilatée dans certaines maladies du cerveau et de la moelle. Enfin les mouvements normaux sont plus ou moins faciles, plus ou moins vifs selon les personnes. Nous avons déjà vu que ces contractions paraissent ne jouer qu'un rôle très secondaire dans l'adaptation, de sorte qu'on peut dire, en résumé, que l'iris est simplement un *diaphragme qui règle lui-même et par action réflexe le diamètre de son ouverture*.

III. Membrane sensible ou rétine.

Éléments de la rétine. — La *rétine* est une membrane très compliquée, qui tapisse exactement la face interne de la choroïde. Elle se compose essentiellement de l'*épanouissement des fibres du nerf optique*, à l'extrémité desquelles se trouvent annexés des organes terminaux particuliers. En effet, le nerf optique traverse toutes les enveloppes de l'œil en un point situé un peu en dedans

de Gasser, le resserrement de l'iris se produit seul, les branches profondes de la carotide ne subissant pas de dilatation. D'autre part, on peut encore, en comparant les phases du resserrement vasculaire et celles de la dilatation de l'iris, produites par l'excitation du sympathique cervical, constater que la pupille commence à se dilater avant le début du resserrement vasculaire, qu'elle arrive à sa dilatation complète alors que les vaisseaux continuent à se dilater, et qu'elle reprend son diamètre initial bien avant que les vaisseaux se soient relâchés. Enfin en excitant le sympathique sur un animal qui vient d'être tué par hémorragie artérielle, on voit que, d'une part, la pupille du côté correspondant au sympathique sectionné reste ressermée, quoique l'iris soit vide de sang, et qu'elle se dilate encore par excitation du sympathique, tout comme avant la mort par hémorragie.

de l'extrémité postérieure de l'axe antéro-postérieur du globe oculaire, et, arrivé à la face interne de la choroïde (fig. 166, P), s'épanouit en rayonnant (*papille du nerf optique*) et forme par cet épanouissement la couche la plus interne de la rétine; mais on voit successivement les fibres de cette couche se recourber pour se diriger de dedans en dehors (fig. 166), et former alors, par leur juxtaposition, l'épaisseur même de la membrane rétinienne. Ces fibres ainsi disposées présentent dans leur court trajet divers

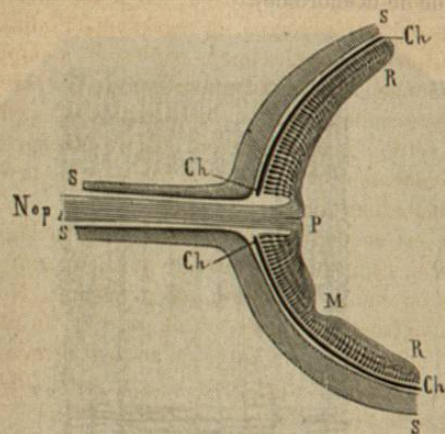


FIG. 166. — Schéma de la rétine et du nerf optique.

renflements dont la signification est encore discutée. Quelques-uns représentent de vraies cellules nerveuses. Ces fibres se terminent en se dilatant en un élément particulier, tantôt petit et mince (*bâtonnets*), tantôt plus volumineux et plus large (*cônes*) (fig. 167); il est facile de comprendre, d'après cette disposition, que les *bâtonnets* et les *cônes* doivent former par leur juxtaposition la couche la plus externe de la rétine (fig. 167); cette couche facilement séparable, était connue depuis longtemps déjà sous le nom de *membrane de Jacob*.

Les derniers travaux des histologistes portent à dix le nombre des couches que l'on trouve ainsi stratifiées pour former l'épaisseur de la rétine. Ce sont, en allant de dedans en dehors (de l'humeur vitrée vers la choroïde) : une membrane limitante interne (fig. 167, *l*); la couche des fibres du nerf optique (fig. 167, *f*);

* S, S, sclérotique; — Ch, choroïde; — Nop, nerf optique; — P, sa papille d'où les fibres rayonnent et vont former la rétine (R, R); — M, fosse centrale de la rétine.

la couche des cellules nerveuses (*g*); la couche granulée interne (*n*); la couche granuleuse interne (*k*); la couche granulée externe (*i*) ou intermédiaire; la couche granuleuse externe (*k'*); la membrane limitante externe; la couche des cônes et des bâtonnets (fig. 167, *s*); et enfin une couche de pigment, qui s'infiltré entre les extrémités des cônes et bâtonnets, et qui provient des cellules pigmentaires de la face interne de la choroïde (du reste l'embryologie montre que ce pigment dit choroidien fait partie de la rétine, bien plutôt que de la choroïde).

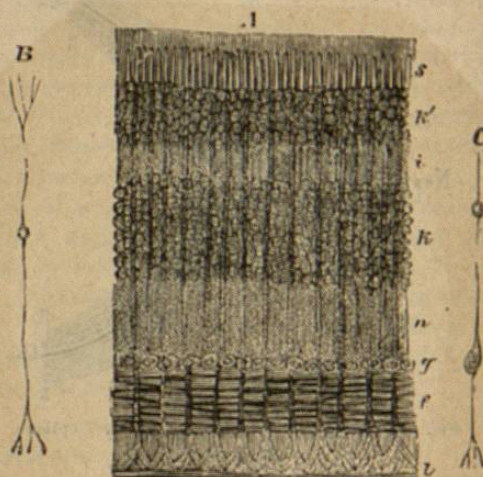


FIG. 167. — Éléments et structure de la rétine.

Il est un point où la rétine est beaucoup plus mince, c'est-à-dire que les fibres nerveuses y ont un trajet de dedans en dehors beaucoup plus court, ne présentent aucun renflement sur leur trajet, et aboutissent directement à leur organe terminal; ce point, coloré en jaune, porte le nom de *tache jaune* et se trouve situé (fig. 168), un peu en dehors de la papille du nerf optique, c'est-à-dire précisément à l'extrémité postérieure du diamètre antéro-postérieur du globe oculaire. *En ce point, les organes terminaux sont tous représentés par des cônes*, tandis que dans les autres points, les

A, Coupe verticale de toute l'épaisseur de la rétine, durcie par l'acide chromique; — *i*, membrane dite *limitante interne*, avec les fibres de soutien ascendantes; — *f*, couche des fibres du nerf optique; — *g*, couche des cellules nerveuses; — *n*, couche grise, finement granulée, traversée par des fibres radiaires; — *k*, couche granuleuse interne (antérieure); — *i*, couche inter-granulaire; — *k'*, couche granuleuse externe (postérieure); — *s*, couche des bâtonnets et des cônes; — B et C, fibres isolées. Grossissement, 300 diamètres (Virchow).

cônes et les bâtonnets sont entremêlés, les premiers devenant d'autant plus rares que l'on considère une partie plus antérieure de la rétine, c'est-à-dire une partie plus éloignée de la tache jaune; vers la limite tout antérieure de la rétine (région de l'*ora serrata*; V. p. 592, fig. 165, 15), les éléments de nature nerveuse deviennent de plus en plus rares et sont remplacés par des éléments connectifs ou de soutien qui existent, du reste, mais en très petite quantité, dans toutes les autres parties de la rétine (fig. 167, en *l*).

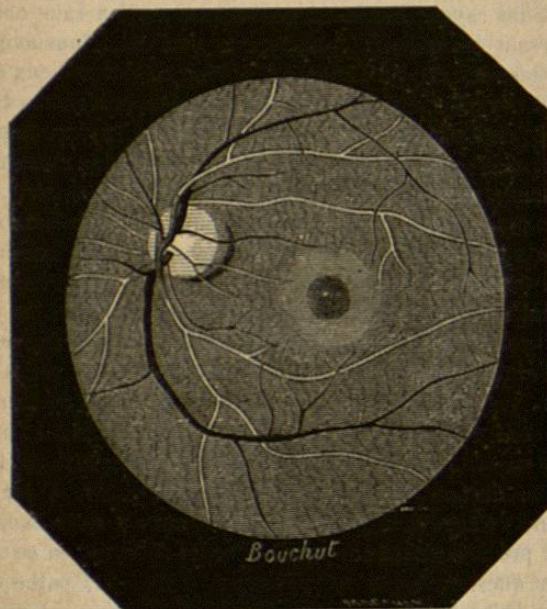


FIG. 168. — Aspect du fond de l'œil examiné avec l'ophtalmoscope.

Enfin la rétine possède des vaisseaux, branches terminales de l'artère centrale du nerf optique, qui émerge au centre de la papille et vient entourer la tache jaune de ses ramifications (fig. 168).

Sensibilité spéciale de la rétine. — La rétine est essentiellement la membrane sensible de l'œil; sa sensibilité, par quelque cause qu'elle soit provoquée, donne toujours lieu, comme phénomène subjectif, à ce que nous connaissons sous le nom de *sensation lumineuse*. La piqûre de la rétine (Magendie), sa compression (*phosphènes*, étudiés par Serre d'Uzès), son tiraillement lors des brusques mouvements de l'œil, en un mot, toutes les excitations qui

portent sur elle, donnent lieu à des impressions de lumière; on obtient les mêmes effets par l'électricité. Ainsi la modalité particulière par laquelle la sensation lumineuse se distingue de toutes les autres ne réside pas dans les qualités particulières à la lumière extérieure; il n'existe aucune relation exclusive entre la lumière et la sensation lumineuse. Seulement la lumière en est l'excitant habituel, normal, physiologique: la rétine, située dans la profondeur du globe oculaire, protégée par la cavité de l'orbite, est presque entièrement soustraite à l'influence de tous les autres agents, tandis que les rayons lumineux peuvent lui arriver sans obstacles, en traversant les milieux transparents de l'œil. Nous avons déjà vu que, dans les cas où l'appareil réfringent des milieux de l'œil fonctionne normalement, les images des objets extérieurs viennent se peindre (renversées) sur la rétine; c'est alors, par un mécanisme particulier que nous chercherons à préciser, que la membrane est impressionnée et que son excitation est transmise aux centres cérébraux (tubercules quadrijumeaux, puis lobes cérébraux).

Mais la rétine n'est pas également sensible à la lumière dans toute son étendue; il est d'abord un point totalement insensible à cet excitant: c'est le lieu d'émergence du nerf optique, la papille nommée pour cela *punctum cæcum*. On démontre facilement ce fait par l'expérience suivante: Si l'on regarde deux petits objets, l'un blanc, par exemple, et l'autre rouge, placés sur un même plan à une certaine distance l'un de l'autre, on peut, en fixant l'un d'eux avec un seul œil, continuer à apercevoir l'autre; mais, si l'on fait mouvoir ce dernier, de manière à faire parcourir à son image tout le fond de la rétine, il arrive un moment où cette image vient se former précisément sur la papille du nerf optique; en ce moment l'objet en question cesse complètement d'être vu, parce qu'il se peint sur le *punctum cæcum*. Ou bien encore (expérience de Mariotte), si l'on trace sur le papier deux points noirs distants de 5 centimètres, qu'on ferme l'œil gauche, qu'on se place à une distance de 15 centimètres du papier, et qu'avec l'œil droit, on fixe le point du côté gauche (A), on n'apercevra pas le point droit (B).



dans cette position, tandis que dans toutes les autres positions, plus rapprochées ou plus éloignées, il devient visible; le calcul démontre que, dans la position indiquée, les conditions sont telles que le point du côté droit a son image sur le *punctum cæcum* et, par suite, ne peut être aperçu.

Pour les autres parties de la rétine, la sensibilité est très différente; elle est à son maximum sur la tache jaune (qui est précisément au pôle postérieur de l'œil) et va en diminuant vers la partie antérieure; ainsi au niveau de l'équateur de l'œil, elle est 150 fois moins considérable que vers la *macula lutea*; en effet, en regardant deux fils très rapprochés, mais que l'on distingue cependant l'un de l'autre, si l'on dispose l'œil de manière à ce que leur image vienne se produire successivement sur la tache jaune et puis vers l'équateur de l'œil, on constatera que, dans ce dernier cas, pour que les deux fils restent distincts, il faut qu'ils soient 150 fois plus écartés l'un de l'autre que lorsqu'ils se peignent sur la tache jaune; cette expérience est tout à fait identique à celle des pointes de compas dont l'écartement nous a servi à mesurer le degré de sensibilité de la peau (V. p. 543).

La tache jaune doit donc être le point essentiel de la vision directe. Aussi ce n'est guère que d'elle que nous nous servons pour voir nettement, et les mouvements du globe oculaire sont destinés à amener toujours l'image des objets examinés sur ce point extrêmement sensible. La surface entière de la rétine est à peu près égale à 15 centimètres carrés; la surface de la tache jaune n'est que de 1 millimètre; nous ne nous servons donc, pour la vue distincte que de la 1500^e partie de la surface rétinienne. Aussi, en lisant, ne voyons-nous distinctement à la fois que deux ou trois mots, dont l'image se fait précisément sur la tache jaune, et pour lire toute la ligne, il faut que l'œil la parcoure successivement, c'est-à-dire amène l'image de tous les mots sur le point sensible. Pour déterminer exactement le nombre de lettres, c'est-à-dire la longueur, la surface qui peut venir se peindre distinctement sur la rétine, on fixe, dans l'obscurité, les yeux sur la page d'un livre, puis à la lueur d'un éclair ou d'une étincelle électrique, on distingue un certain nombre de lettres; les dimensions calculées en partant de cette donnée correspondent exactement aux dimensions connues de la tache jaune.

Ce n'est pas tout que de connaître les variations de sensibilité que présentent les diverses régions de la rétine, il faut encore considérer cette membrane dans son épaisseur et voir si, parmi les nombreuses couches que nous avons précédemment énumérées, il n'en est pas une qui soit plus spécialement sensible, qui renferme l'élément essentiellement impressionnable à la lumière. Une expérience très simple nous permet d'arriver à une solution assez satisfaisante de ce problème: c'est l'expérience connue sous le nom d'*arbre vasculaire de Purkinje*, qui consiste dans la perception des vaisseaux ou plutôt de l'ombre des vaisseaux de la

rétine elle-même. Ces vaisseaux, situés dans les couches antérieures de la rétine, projettent continuellement leur ombre sur les couches postérieures de cette membrane, et il est à supposer *a priori* que si nous ne percevons pas normalement cette ombre, c'est par le fait de l'habitude; il s'agissait donc de savoir si elle ne peut pas être visible par quelque artifice, qui consisterait à la projeter sur des points autres que les points habituels. C'est ce qu'on obtient de la manière suivante¹: Si, dirigeant le regard vers un fond obscur, on place une bougie allumée, soit au-dessous, soit à côté de l'œil (fig. 169), les rayons partis de cette source lumineuse (B) sont concentrés par le cristallin sur une partie très latérale de la rétine,

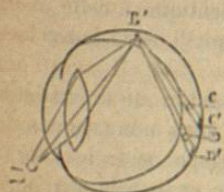


FIG. 169. — Expérience de Purkinje².

puisque la source lumineuse (la bougie) est très en dehors du centre visuel. Cette image rétinienne de la bougie constitue alors elle-même une source lumineuse intérieure (B') assez forte pour envoyer dans le corps vitré une quantité de lumière relativement considérable. Sous l'influence de cette lumière, il est facile de le comprendre, les vaisseaux rétiens (C et D) projettent leur ombre sur les couches postérieures de la rétine, mais la projettent en des points autres que les points habituels (C' et D'). Cette ombre sera déplacée et portée du côté opposé à celui de la source lumineuse rétinienne, c'est-à-dire du même côté que la bougie (source lumineuse primitive). On voit alors apparaître dans le champ visuel, éclairé d'un rouge jaunâtre, un réseau de vaisseaux sombres qui représentent exactement les vaisseaux rétiens, tels qu'on les dessine d'après une préparation anatomique (*arbre vasculaire de Purkinje*).

Les couches postérieures de la rétine sont donc sensibles à la lumière; mais cette même expérience nous permet d'indiquer avec plus de précision quelle est, parmi les couches postérieures, la couche sensible. Des mouvements que manifestent les ombres des vaisseaux, quand on déplace la source lumineuse, c'est-à-dire de la grandeur apparente du mouvement qu'effectue, dans le champ

¹ V. Helmholtz, *Optique physiologique*, Traduct. franç. par E. Javal et Th. Klein, Paris, 1867, p. 214.

² B, Bougie placée à côté de l'œil, c'est-à-dire aussi latéralement que possible par rapport au centre de la cornée; — B', source lumineuse intérieure, formée par les rayons lumineux que le cristallin concentre sur une partie très latérale de la rétine; — C, D, deux vaisseaux de la rétine (l'épaisseur de la rétine a été extrêmement exagérée ici, pour donner de la clarté à ce dessin schématique). On voit que l'ombre de ces deux vaisseaux est projetée en D' et C'.

visuel l'arbre vasculaire, Helmholtz, par un procédé mathématique que nous ne pouvons indiquer ici, a pu déduire que la couche qui perçoit ces ombres est éloignée de ces vaisseaux d'une distance précisément égale à celle que les mensurations microscopiques (sur les coupes de rétine) nous montrent entre la couche où se trouvent les vaisseaux et la membrane de Jacob; *la couche sensible de la rétine est donc représentée par la couche des cônes et des bâtonnets*.

Du moment que nous arrivons à localiser la sensibilité dans l'une des couches de la rétine, dans sa couche la plus postérieure, nous ne pouvons plus nous contenter de cette vaine formule que *la rétine est un écran*, et nous regarder comme satisfaits après avoir conduit la lumière, à travers les milieux de l'œil, jusqu'à la surface de la sphère rétinienne. Ainsi que Desmoulins, puis Rouget l'ont établi, les rayons lumineux traversent sans les impressionner toutes les couches de la rétine; ils arrivent ainsi jusqu'à la surface de contact des bâtonnets et de la choroïde; là ils sont réfléchis, et, le centre optique coïncidant sensiblement avec le centre de courbure de la rétine, la réflexion a lieu sensiblement dans la direction de l'axe des bâtonnets et des cônes. Mais les *segments externes* des cônes et des bâtonnets, ainsi que l'a démontré Schultze¹, se composent de petites lamelles superposées, qui, vu leur structure et leurs propriétés optiques, ne peuvent être considérées comme des éléments impressionnables: ces appareils ne peuvent servir qu'à modifier la lumière. On tend généralement aujourd'hui à admettre qu'il se passe à ce niveau, au moment où la lumière réfléchie par le *miroir choroïdien* (Rouget) revient à travers la rétine, une transformation particulière qui est comme l'intermédiaire obligé entre le phénomène physique de la lumière et le phénomène physiologique de l'excitation nerveuse. Sans vouloir préciser la nature intime de l'acte qui se produit à ce niveau, on peut penser qu'il s'agit là d'une *transformation de force*; en d'autres termes, le mouvement lumineux (vibrations de l'éther) se transforme en mouvement nerveux (vibration nerveuse, V. p. 33 et 142). Les portions externes des cônes et des bâtonnets sont incapables de recevoir elles-mêmes les impressions lumineuses, mais elles constituent des appareils de transformations des ondulations lumineuses, c'est-à-dire les agents spéciaux de transmission du mouvement de la lumière au nerf optique.

¹ V. le résumé de ces recherches in Duval, *Structure et usage de la rétine*, Paris, 1873, thèse d'agrég. et art. RÉTINE, du *Nouveau Dict. de médecine et de chirurgie pratiques*.

Pourpre rétinien. — Les récents travaux de Boll¹ et Kühne semblent de nature à fournir quelques renseignements sur cet acte de *transformation* du mouvement lumineux en mouvement nerveux, ou du moins sur un acte chimique corrélatif à cette transformation : nous voulons parler de la découverte du *rouge* ou *pourpre rétinien*, des conditions de sa production et de sa destruction. Ces auteurs ont montré, en effet, que, dans l'obscurité, les segments externes des bâtonnets se chargent, par le fait de leur nutrition chez l'animal vivant, d'une matière rouge (pourpre rétinien) qui, lorsque l'animal est amené à la lumière, disparaît seulement dans les parties frappées par les rayons lumineux (parties claires de l'image rétinienne); c'est donc la destruction du pourpre rétinien qui représente l'acte chimique corrélatif à la transformation en question. Ajoutons que ce fait a fourni à ces auteurs le sujet de très curieuses expériences : comme l'immersion dans une solution d'alun rend le pourpre rétinien inaltérable à la lumière, le fixe, en un mot, ils ont pu, après avoir placé un animal (grenouille ou lapin) devant une fenêtre vivement éclairée, en sacrifiant aussitôt après cet animal et immergeant le globe oculaire dans l'alun, obtenir des rétines qui donnaient une véritable épreuve photographique (rouge) de l'image de la fenêtre (avec ses barres transversales et ses ouvertures éclaircies); ils ont donné à ces images le nom d'*optographes*.

Les segments internes des cônes et des bâtonnets seraient donc les organes essentiellement impressionnables à la lumière. Quant aux différences de fonctions correspondant aux différences de formes et de structure que l'on trouve entre les *cônes* et les *bâtonnets*, elles paraissent se rapporter, d'après les recherches de Schultze, à ce que les bâtonnets percevraient seulement les *différences d'intensité* que peut présenter la lumière, tandis que les cônes seraient impressionnés par les *différences qualitatives* de la lumière, c'est-à-dire par les *couleurs*. Ainsi l'histologie comparée nous montre que les cônes manquent complètement chez les nocturnes (chauve-souris, hérisson, taupe). Or, nous savons que l'on ne peut dans l'obscurité distinguer les couleurs. De même les oiseaux de nuit manquent complètement de cônes et n'ont que des bâtonnets : cela doit leur suffire pour distinguer des différences quantitatives et non qualitatives de lumière. Au contraire, les oiseaux diurnes, surtout ceux qui font leur proie de petits insectes aux couleurs brillantes, possèdent un nombre relativement beau-

¹ Boll. Physiologiste d'origine allemande (1849-1879) fut professeur de physiologie à Rome, de 1873 jusqu'à sa mort.

coup plus grand de cônes que l'homme et les autres mammifères. (Nous reviendrons ci-après sur cette question, après avoir donné quelques détails sur la nature des couleurs et les conditions de leur perception).

Et en effet les expériences de Charpentier ont montré que les sensations de lumière et les sensations de couleur sont le résultat de deux fonctions bien distinctes, qui, intimement fusionnées dans l'exercice habituel de la vision, peuvent être nettement isolées l'une de l'autre par l'analyse physiologique, la sensation de couleur étant essentiellement variable suivant le point de la rétine considéré et suivant de nombreuses conditions expérimentales, indépendamment de la sensibilité lumineuse; mais, réciproquement la sensibilité lumineuse peut changer dans certaines conditions pendant que la sensibilité aux couleurs reste constante. Ainsi l'œil reposé dans l'obscurité jouit d'une sensibilité lumineuse très supérieure à celle de l'œil qui n'a pas cessé d'être en activité, mais pour l'un comme pour l'autre œil, on trouve le même minimum pour l'appréciation de chaque couleur, c'est-à-dire que la sensibilité chromatique n'est pas modifiée par l'exercice ou par le repos. Pour expliquer l'action du repos de l'œil sur la sensibilité lumineuse, on peut invoquer les faits signalés par Boll, à savoir qu'il existe dans la rétine une substance chimique de couleur rouge, que la lumière décolore et qui se régénère dans l'obscurité, et admettre par suite que le nerf optique est excité, non pas directement par la lumière, mais indirectement par la modification chimique que la lumière produit dans le rouge rétinien : le repos de l'œil, dans l'obscurité, produirait donc une augmentation de la sensibilité lumineuse par le fait de la présence, dans cet œil, d'un excès de substance rouge photochimique¹.

Cette hypothèse est confirmée par l'expérience suivante : Quand on présente à un œil qui sort du repos de l'obscurité une couleur pure, cet œil ne voit pas une couleur saturée, mais une couleur fortement mélangée de blanc; c'est qu'il s'ajoute à l'impression chromatique pure une forte impression de lumière blanche, comme on l'obtiendrait à l'aide des mélanges de couleur et de blanc par les disques rotatifs de Chevreul.

Impressions colorées; vision des couleurs. — Pour entrer plus avant dans l'analyse des impressions de la rétine par les couleurs, il nous faut d'abord rappeler rapidement quelques notions de physique. On sait que la lumière consiste dans les oscillations d'un milieu subtil nommé *éther*, dont

¹ Aug. Charpentier, *Les sensations lumineuses et les sensations chromatiques* (Cœcept. rend. Acad. des sciences, mai 1878, et nov. 1881).

Hooke, Huygens, Young, Fresnel, ont supposé, dont Foucault, Fizeau, Encke, par leurs expériences, ont presque démontré l'existence. Nous n'avons pas besoin de rappeler que le son est produit par les oscillations vibratoires de l'air (ou de tout autre corps) et que, selon que les ondes ainsi produites sont plus nombreuses, plus amples et diversement associées entre elles, on distingue dans le son trois qualités correspondantes : la *tonalité*, l'*intensité* et le *timbre*. De même, selon le nombre, l'ampleur et les associations diverses des vibrations de l'éther lumineux, on a appris à distinguer dans la lumière sa *tonalité* (couleurs), son *intensité* et sa *saturation* (saturation des couleurs correspondant à peu près au timbre plus ou moins pur des sons). Voyons d'abord quelles sont les limites de l'échelle de tonalité des couleurs, comparativement à l'échelle des sons.

On sait que toutes les vibrations des corps sonores ne peuvent pas être perçues par l'organe de l'ouïe. L'excitation des organes terminaux du nerf optique présente une particularité analogue. On sait que le nombre des vibrations dans l'unité de temps est en raison inverse de la longueur d'onde : or, si l'on représente par 266 la longueur d'onde des premiers rayons lumineux capables d'exciter la sensibilité rétinienne (correspondant dans notre comparaison aux *sons les plus bas*), la longueur d'onde des derniers rayons visibles (correspondant dans notre comparaison aux *sons les plus hauts*) est représentée par 167.

D'autre part, l'œil, comme l'oreille, peut être frappé en même temps par plusieurs systèmes d'ondes ; mais dans l'oreille ces sons ne se mélangent pas : un musicien exercé est en état d'entendre immédiatement dans un accord la note produite par chaque instrument ; la rétine au contraire est impuissante à reconnaître immédiatement, sans artifice expérimental, la composition d'une lumière.

Cette décomposition se fait artificiellement par l'expérience bien connue du prisme de Newton. Tout le monde sait qu'un rayon de lumière blanche est divisé par le prisme en plusieurs rayons, chacun de couleur différente, en un *spectre*, où les couleurs font une *gamme* continue. La gamme commence par le rouge (premier rayon visible) ; puis viennent l'orangé, le jaune, le vert, le bleu, l'indigo et enfin le violet (dernier rayon visible).

Si nous considérons d'abord le *rouge*, nous remarquons qu'à mesure qu'on descend dans le spectre la sensation du rouge devient moins intense : il y a donc, comme correspondant à cette partie du spectre, une *excitation rétinienne élémentaire*, qui décroît à mesure que les ondes deviennent plus courtes et plus rapides. Mais on voit alors naître une nouvelle *excitation élémentaire* : car, s'il n'y avait que celle du rouge, à mesure qu'on avancerait vers l'autre extrémité du spectre (vers le violet), elle faiblirait avec le raccourcissement et l'accélération croissante des ondes, et le spectre tout entier ne présenterait que des degrés décroissants d'intensité du rouge, tandis que, en réalité, au minimum apparent du rouge, nous voyons se produire une nouvelle excitation distincte, celle du *jaune* (ou du *vert*). Si nous considérons alors semblablement cette excitation, nous remarquons encore que cette couleur, après avoir présenté un maximum, au lieu de s'affaiblir indéfiniment jusqu'au bout du spectre, est bientôt remplacée, au moment où il atteint son minimum, par une nouvelle excitation élémentaire,

celle du *bleu* (ou du *violet*, comme nous aurons à le discuter plus loin). En étudiant cette dernière excitation, comme nous avons fait pour les deux précédentes, nous voyons, cette fois, le violet s'affaiblir indéfiniment jusqu'au bout du spectre sans subir aucun autre changement, sans être remplacé par aucune nouvelle excitation. Il y a donc dans le spectre *trois excitations élémentaires* qui suffisent, en se combinant, pour produire toute la série des couleurs ; c'est là ce qui constitue la *gamme des couleurs* : c'est ce que l'on a appelé les *trois couleurs élémentaires*. En d'autres termes, toutes les sensations colorées que produit le spectre se groupent autour de trois couleurs principales, rouge, jaune (ou vert), bleu (ou violet), auxquelles nous rapportons toutes les autres, ces dernières nous paraissant n'être que des formes de transition résultant du mélange des couleurs principales. — Le spectre solaire se prolonge au delà du rouge en rayons dits calorifiques obscurs et qui n'impressionnent pas la rétine ; au delà du violet sont de même les rayons dits ultra-violet ou rayons chimiques (remarquables par leurs actions chimiques) qui impressionnent encore la rétine, mais si faiblement, que cette excitation demeure non perçue à côté de celle produite par les autres parties du spectre : en effet, si, par un artifice, on supprime les autres couleurs du spectre, une certaine étendue de rayons ultra-violet devient visible en offrant une couleur gris bleuâtre ou gris lavande.

Revenons à la détermination des trois couleurs fondamentales, sur le nom desquelles nous avons évité de nous prononcer ci-dessus. C'est qu'en effet le rouge, le jaune et le bleu, qu'on regardait autrefois, et que, quelques pages plus haut, nous avons provisoirement regardés comme représentant les trois couleurs élémentaires ou fondamentales, ne le sont pas en réalité, d'après les recherches récentes des physiciens. Les peintres les désignent encore comme telles, et, en effet, ils peuvent par leurs mélanges reproduire avec assez de fidélité toutes les nuances et tous les tons ; mais il n'en est pas ainsi, si l'on fait arriver sur la rétine les couleurs de même nom empruntées au spectre solaire ; la différence la plus frappante entre le mélange des couleurs pour la peinture et le mélange de lumière colorée consiste en ce que les peintres obtiennent du vert par le mélange du bleu et du jaune, tandis que le mélange de lumière jaune et de lumière bleue donne de la lumière blanche (la lumière jaune est produite avec un mélange du rouge et du vert du spectre). C'est qu'en effet les peintres mélangent, non pas les impressions colorées, mais les matières colorantes elles-mêmes, ce qui est bien différent : dans le mélange des poudres colorées il se passe, en effet, des phénomènes d'absorption lumineuse qui interviennent pour modifier les résultats : les liquides colorés, comme les poudres colorantes, doivent leurs couleurs à l'absorption des rayons d'une longueur d'onde déterminée, de sorte que par exemple, un liquide bleu doit cette couleur à ce qu'il laisse passer tous les rayons bleus, un peu les rayons verts et pas du tout les rouges. Dans les mélanges de poudres ou liquides colorés, au lieu d'ajouter les unes aux autres des couleurs pures, on ne fait qu'opérer par soustractions multiples de couleurs (aussi ces mélanges sont-ils toujours plus foncés que les substances simples qui entrent dans leur composition). Or nous n'étudions ici que l'excitant lumière et ses effets sur la rétine :

nous admettrons donc, d'après les résultats récents des physiiciens et des physiologistes, que les couleurs fondamentales sont le *rouge*, le *vert* et le *violet*. — Du reste, on n'est pas encore parvenu à s'entendre bien exactement sur ces trois couleurs fondamentales. Tous les expérimentateurs sont d'accord pour le *rouge*; on tend à admettre le *vert*; il y a pour le *violet* plus de discussions, dans le détail desquelles nous ne saurions entrer ici; nous nous contenterons de rapporter une observation empruntée à Preyer: elle a trait à un sujet atteint de dyschromatopsie, cette singulière affection dont l'étude nous fournira plus loin nombre de faits intéressants. Une femme remarqua qu'elle voyait autrement les couleurs avec l'œil droit qu'avec l'œil gauche. L'essai fait avec les différents rayons du spectre montra que l'œil gauche voyait toutes les couleurs, tandis que le droit était complètement privé de la perception du *vert*. On rechercha aussitôt si ce sujet distinguait de cet œil le bleu et le violet du spectre comme bleu et comme violet. Si le bleu est une couleur fondamentale, l'œil privé de la perception du vert n'en devra pas moins reconnaître le bleu spectral comme tel. Si au contraire le bleu n'est produit, comme on tend à le croire généralement aujourd'hui, que par l'excitation simultanée des organes terminaux de la rétine aptes à percevoir le vert et le violet, le bleu devra naturellement être perçu comme du violet et non comme du bleu. C'est ce qui arriva en effet: tandis que l'œil gauche distingua bien le bleu et le violet, l'œil droit, privé de la perception du vert, confondit le bleu et le violet en accusant une couleur *lilas avec une pointe rose*. D'autre part, von Bezold a observé que, quand on diminue progressivement l'éclairage du spectre solaire, il arrive un moment où l'on ne distingue plus que le rouge, le vert et le violet, les autres couleurs intermédiaires ayant disparu, ce qui prouve bien que ces trois couleurs ont une valeur toute spéciale dans le spectre solaire.

De cette expérience nous pouvons conclure, avec Preyer, que le *violet est bien l'une des trois couleurs fondamentales*, comme Th. Young l'avait prétendu et comme Helmholtz avait démontré qu'il devait en être ainsi, selon toute vraisemblance.

Le mélange des couleurs fondamentales produit de la lumière blanche: c'est pourquoi le mélange de rouge avec du vert-violet donne du blanc (il va sans dire que nous parlons toujours du mélange de *couleurs spectrales*). On donne le nom de *couleurs complémentaires* à deux couleurs dont le mélange produit ainsi la sensation du blanc, et on dit, par exemple, que le vert-violet est complémentaire du rouge et réciproquement.

Hypothèse de Th. Young et Helmholtz. — La théorie de l'excitabilité distincte de la rétine par les trois couleurs élémentaires est un des points les plus délicats de la physiologie de cette membrane; c'est ce qu'on a appelé de tout temps la *théorie des couleurs*. « C'était, dit familièrement Helmholtz (*Revue des cours scientifiques*, 1868, p. 322), un *morceau* qui avait échappé, non seulement à la sagacité de Goethe, mais encore aux physiiciens et aux physiologistes. Je m'étais également consumé longtemps en efforts superflus, lorsque je découvris qu'une solution d'une simplicité surprenante avait déjà été trouvée et imprimée au commencement de ce siècle. Elle est de ce même Thomas Young, qui fit le premier pas dans la

lecture des hiéroglyphes égyptiens. C'était un des génies les plus profonds qui aient jamais existé, mais il eut le malheur d'être trop avancé pour son siècle. »

La théorie de Th. Young, reprise et développée par Helmholtz, peut se résumer ainsi: chaque élément excitable de la rétine, et, par suite, chaque fibre nerveuse du nerf optique, est composée de trois fibres élémentaires, différemment excitables par chacune des trois couleurs élémentaires. L'une

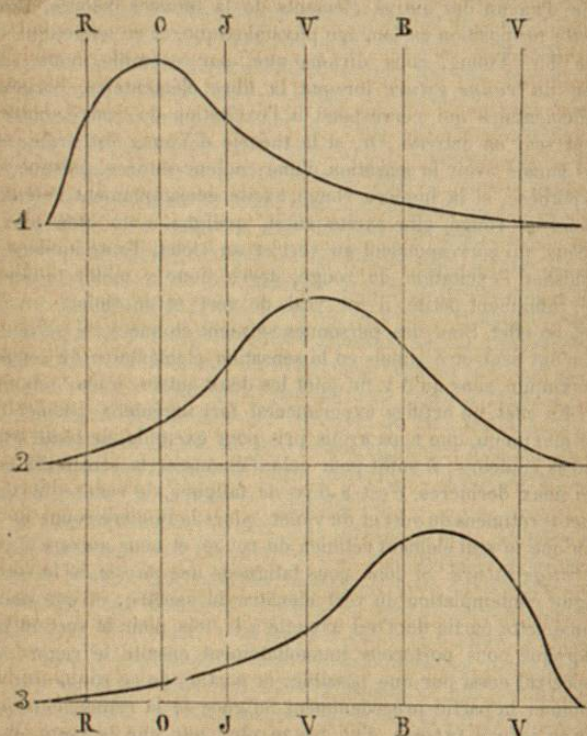


FIG. 170. — Irritabilité des trois espèces de fibres rétiniennees (Hypothèses de Th. Young).

répond vivement à l'excitation du rouge et peu à celles du vert et du violet; la seconde répond très vivement à l'excitation du vert, et peu à celles du rouge et du violet; enfin la troisième entre vivement en jeu sous l'influence des rayons violets, et très faiblement sous celles des rouges et des verts. Le mélange de ces trois excitations dans des proportions différentes fait naître la sensation de toutes les autres couleurs du spectre.

La figure 170 traduit, sous une forme graphique, l'hypothèse de Th. Young: les couleurs spectrales y sont disposées horizontalement, et par ordre, depuis le rouge R jusqu'au violet V; les trois courbes superposées

représentent l'irritabilité des trois ordres de fibres, la courbe 1 pour les fibres du rouge, la courbe 2 pour celles du vert, et la courbe 3 pour celles du violet.

Cette théorie rend parfaitement compte des diverses particularités qu'on observe dans l'excitabilité de la rétine par les couleurs; elle explique ce qu'on appelle l'impression d'une *couleur saturée*: on dit qu'une couleur est saturée lorsqu'elle est aussi *pure* que possible, c'est-à-dire *sans mélange* d'aucun des autres éléments de la lumière colorée. Pour traduire cette proposition en langage physiologique, et en admettant l'hypothèse de Th. Young, nous dirions que, par exemple, nous avons la sensation du *rouge saturé* lorsque la fibre élémentaire, l'organe terminal élémentaire qui correspond à l'excitation du rouge, entre complètement seul en activité. Or, si la théorie d'Young est vraie, nous ne devrions jamais avoir la sensation d'une couleur saturée, puisque, d'après cette hypothèse, si la lumière rouge excite énergiquement l'élément qui correspond au rouge, elle excite aussi, quoique à un bien plus faible degré, ceux qui correspondent au vert et au violet. Toute lumière rouge, en produisant l'excitation du rouge, devra donc y mêler toujours une quantité, infiniment petite, il est vrai, de vert et de violet. — C'est ce qui a lieu en effet. Bien des personnes seraient étonnées, si on leur disait qu'elles n'ont peut-être jamais eu la sensation élémentaire du rouge porté à son maximum, sans qu'il y fût joint les deux autres, à leur minimum, il est vrai. En effet, un artifice expérimental fort ingénieux permet d'isoler le rouge maximum, que nous avons pris pour exemple, de toute trace des deux autres couleurs: il suffit pour cela d'émousser la sensibilité de l'œil pour ces deux dernières, c'est-à-dire de fatiguer, de rendre inexcitables les éléments rétinien du vert et du violet: alors la lumière rouge ne mettra en action que le seul élément rétinien du rouge, et nous aurons la perception du *rouge saturé*. Si donc nous fatiguons une *partie* de la rétine par une longue contemplation du vert bleuâtre du spectre, et que nous rendions ainsi cette partie de l'œil aveugle à la fois pour le vert et pour le violet, lorsque nous porterons immédiatement ensuite le regard sur un rouge spectral aussi pur que possible, la portion de ce rouge qui viendra impressionner la partie précédemment fatiguée de la rétine nous paraîtra d'un *rouge saturé intense*, d'un rouge plus pur que le reste du rouge spectral qui l'environne, et qui est pourtant le rouge le plus pur que le monde extérieur puisse nous offrir.

Nous aurons à revenir plus loin sur les diverses expériences de ce genre dans lesquelles sont mis en jeu la fatigue, l'épuisement de l'excitabilité de la rétine pour certaines parties du spectre. Indiquons seulement ici ce fait que, si une partie de la rétine est fatiguée pour une couleur, pour le rouge, par exemple, lorsque sur cette partie viendra se peindre une image blanche, la rétine ne donnera pas lieu à une impression de lumière blanche, mais bien à une impression de lumière d'un vert violet, puisque dans le blanc, composé de rouge, de vert et de violet, elle ne sera plus excitée par le rouge, mais seulement par le vert et le violet; en un mot, dans la lumière blanche elle ne sera excitée que par la *couleur complémentaire* de celle pour laquelle elle est fatiguée.

La théorie de Th. Young est également propre à expliquer les singulières anomalies connues sous le nom de *dyschromatopsies*. On sait que chez quelques personnes la rétine n'est sensible qu'à deux ou qu'à une des trois couleurs élémentaires. Ces observations sont très intéressantes pour établir la physiologie de la rétine. Parmi les nombreuses formes de cécité des couleurs étudiées par les ophthalmologistes, nous ne parlerons pas de l'*achromatopsie*, qui consiste dans une impossibilité complète d'apercevoir les couleurs, le sujet ne distinguant que les degrés de clair et de sombre et voyant, par exemple, les objets tels qu'ils sont représentés par la photographie; nous nous arrêterons seulement sur les cas où l'excitabilité manque pour une seule couleur. — Parmi ces formes, le cas le plus fréquent est celui d'*achromatopsie pour le rouge, d'anérythroblepsie*¹. Chez ces sujets, la lumière rouge est comme si elle n'existait pas: par suite, toutes les différences de couleurs paraissent, pour les couleurs de peinture, des différences de jaune et de bleu; pour les couleurs du spectre, des différences de vert et de violet: « Les fleurs rouge écarlate du géranium leur paraissent du même ton que les feuilles de cette plante; ils ne peuvent distinguer entre elles les lanternes rouges et vertes qui servent de signaux sur les chemins de fer; le rouge écarlate très saturé leur paraît presque noir, à tel point qu'un prêtre écossais, affecté d'anérythroblepsie, se choisit un jour par mégarde du drap rouge écarlate pour une soutane. » Tous ces phénomènes s'expliquent parfaitement grâce à la théorie de Th. Young. S'il y a en effet dans le nerf optique, ou dans ses éléments terminaux, des fibres affectées au violet, d'autres au rouge, d'autres au vert, il suffit que l'une de ces espèces de fibres manque, et le sujet sera condamné fatalement à ignorer la couleur correspondante.

Enfin on peut aujourd'hui donner à la théorie de Th. Young de véritables bases anatomiques. En effet, on tend généralement à regarder les cônes comme le siège des énergies spécifiques dont l'excitation constitue le point de départ des sensations colorées; or nous allons voir qu'en acceptant l'hypothèse de Young, tous les faits empruntés soit à la vision chez l'homme, soit à la physiologie comparée des vertébrés, paraissent devoir nous décider à placer dans les cônes la sensibilité aux couleurs. Nous allons passer ces faits en revue successivement, en allant de la physiologie de la rétine humaine à la physiologie comparée, qui nous fournira les arguments les plus décisifs.

1° Les régions de la rétine humaine les plus aptes à percevoir et à distinguer les couleurs sont celles qui sont les plus riches en cônes; en première ligne vient la tache jaune, qui, nous le savons, ne renferme que des cônes; à mesure que l'on examine les portions équatoriales, puis les parties antérieures de la rétine, l'excitabilité chromatique s'affaiblit et disparaît: « Chacun de nous est aveugle pour le rouge, près de la limite du champ visuel. Par la périphérie de la rétine, nous voyons le mouvement

¹ L'Achromatopsie pour le rouge est dite encore *Daltonisme*, du nom de Dalton, physicien et chimiste anglais (1766-1844), célèbre par ses découvertes dans les sciences physiques, et par l'étude qu'il fut le premier à faire de cette singulière infirmité de la vision dont il était atteint.

d'une fleur de géranium que nous faisons aller et venir dans le champ de la vision, mais nous ne distinguons pas sa couleur, laquelle se confond avec celle du feuillage de la même plante. » (Helmholtz). Or nous savons que les cônes deviennent très rares, sinon totalement absents, vers les zones antérieures de la rétine proprement dites. Woinow a fait de nombreuses recherches sur les divers degrés d'excitabilité de la rétine par les couleurs, dans les divers zones de cette membrane. De ses travaux et des recherches de Ruckhard il résulte, ainsi qu'on le savait du reste depuis longtemps, que les couleurs composées sont perçues tout autrement vers les régions antérieures que vers le pôle postérieur de la rétine. Expérimentant principalement avec la couleur *pourpre*, ces physiologistes ont montré que, vers le point de fixation (tache jaune) et dans une certaine étendue autour de lui, l'objet de couleur *pourpre* apparaît avec sa véritable couleur. Cette partie centrale est entourée d'une zone presque équatoriale, où la couleur *pourpre* est perçue comme *bleue*, très nette; enfin, plus en avant, il n'y a plus de couleur, et l'objet paraît gris.

Landolt s'est attaché à établir la topographie de l'excitabilité de la rétine par les couleurs : en faisant mouvoir des papiers colorés dans le champ de fixation (l'œil étant immobile), et en leur faisant parcourir les diverses lignes qui rayonnent en partant du point de fixation, on arrive à déterminer une série de cercles ou d'ovales concentriques autour de ce point (autour de la tache jaune, qui correspond au point de fixation du champ visuel), cercles dont le plus petit correspond à la couleur dont la vision s'étend le moins vers la périphérie, et le plus grand à la couleur qui est reconnue le plus loin vers les parties excentriques; Landolt a trouvé ainsi que :

Le vert disparaît avec un écartement de.	50°
Le rouge — — — — —	57°
L'orangé — — — — —	62°
Le jaune — — — — —	67°
Le bleu — — — — —	74°

Ces chiffres sont obtenus par des mensurations faites du côté temporal (en dehors); du côté nasal (partie interne du champ visuel) on obtient des écartements un peu moins considérables, c'est-à-dire qu'en réalité ce ne sont pas des cercles, mais des ellipses, qui représentent les champs de visibilité (d'excitabilité rétinienne) pour chaque couleur. Si nous rapprochons ce fait d'affaiblissement et de disparition des couleurs de cet autre fait de la diminution de l'acuité visuelle à la périphérie rétinienne (ci-dessus, page 599), nous pouvons dire, selon une comparaison employée par Hirschberg, que l'ensemble des excitations portées sur la totalité de la surface rétinienne y forme comme un tableau dont le centre est peint avec une grande précision de formes et de couleurs; mais, à mesure qu'on s'éloigne du point central, les formes deviennent plus confuses en même temps que les couleurs disparaissent plus rapidement encore.

Pour expliquer ces faits, en considérant les cônes comme étant le siège des excitations colorées, il faut admettre, conformément à la théorie de Th. Young, que les éléments qui sont impressionnés par les couleurs élémen-

taires ne sont pas également distribués dans la rétine, mais présentent des départements d'inégale grandeur : à la partie où se trouvent réunis les trois éléments excitables, la sensibilité pour les couleurs est parfaite, mais en dehors de là elle ne l'est plus. Dans la bande périphérique où l'objet *rouge pourpre* paraît *bleu* manquent les éléments excitables par le rouge, de sorte que le bleu (ou violet?), qui est un des éléments constituants du *pourpre* apparaît seul. Le rouge, l'orange, le jaune, paraissent tous d'une couleur jaunâtre, de sorte qu'on peut, même dans l'œil sain, considérer cette zone comme *aveuglé pour le rouge*.

2° Parmi les mammifères, les cônes manquent complètement chez les nocturnes (chauve-souris, hérisson, taupe, etc.). Or nous savons que l'on ne peut dans l'obscurité distinguer les couleurs. Si les cônes sont les organes des impressions colorées, on ne doit pas s'étonner qu'ils manquent chez les chauves-souris, etc. D'autre part, si les cônes sont le siège de l'excitation par les couleurs, comme ces cônes sont plus clairsemés que les bâtonnets, il doit être nécessaire, pour qu'un objet soit perçu avec sa couleur, qu'il présente une dimension minimum plus considérable que pour être perçu seulement dans sa forme. C'est ce que démontrent en effet les expériences d'E. Fick, qui a constaté que les objets colorés vus sous un très petit angle ne donnent plus la sensation des couleurs, mais seulement la sensation d'un objet éclairé par la lumière blanche; nous reviendrons du reste sur cette question en cherchant à établir une distinction presque absolue entre les impressions de lumière blanche et celles de lumière colorée. Pour nous en tenir pour le moment à l'examen des cônes considérés comme les organes doués des propriétés que suppose l'hypothèse de Th. Young, faisons encore remarquer que les oiseaux de nuit, de même que les mammifères nocturnes, manquent complètement de cônes et n'ont que des bâtonnets; cela doit leur suffire pour distinguer des différences quantitatives et non qualitatives de lumière. Au contraire, ainsi qu'il a été dit, les oiseaux diurnes, surtout ceux qui font leur proie de petits insectes aux couleurs brillantes, possèdent un nombre relativement beaucoup plus grand de cônes que l'homme et les autres mammifères.

3° On a constaté en anatomie que les fibres de cônes (couche granuleuse externe) sont plus épaisses que celles des bâtonnets; de plus, elles paraissent se décomposer en fibrilles, ce qui nous permettrait de comprendre, dans l'hypothèse de Th. Young, que dans ce nombre de fibrilles les unes répondraient au rouge, les autres au vert, d'autres enfin au violet : nous pourrions donc concevoir, toujours d'accord avec cette hypothèse, qu'un seul cône fut excitable à la fois et d'une manière distincte par chacune des trois couleurs élémentaires.

Persistance des images sur la rétine. — Les impressions produites sur la rétine présentent certaines particularités intéressantes à étudier : ainsi ces impressions *persistent* un certain temps après que l'objet lumineux a cessé d'agir, et si des impressions lumineuses très courtes se succèdent rapidement, elles finissent par se confondre en une impression continue. Tout le monde sait qu'un charbon ardent agité vivement devant les yeux produit l'effet d'un ruban ou d'un cercle de feu, parce que l'impression qu'il a produite en passant devant un point de la rétine persiste