leurs fondamentales correspondent à des intervalles sensiblement égaux dans la gamme des couleurs que M. Fick remplace dans les couleurs fondamentales, le violet par le bleu [1].

La gamme de toutes les couleurs visibles ne correspond pas à un octave de l'échelle des tons, car il n'y a entre les rayons les moins réfrangibles et les rayons les plus réfrangibles, pas même la différence :: 1 : 2, mais seulement la différence :: 1 : 1,6.

On peut supposer qu'il y a dans chaque partie de la rétine, laquelle peut sentir partout les trois couleurs fondamentales, trois éléments nerveux distincts possédant un appareil terminal particulier à excitabilité distincte. Les plus sensibles au rouge seraient excités par les rayons les moins réfrangibles; les plus sensibles au vert le seraient par les rayons de moyenne réfrangibilité; les plus sensibles au bleu, par les rayons les plus réfrangibles. Ou bien on peut supposer que la couleur n'est qu'une fonction de l'intensité. Une lumière extrêmement vive *colorée* ou *non* donne une sensation qu'on peut estimer être blanche. De tous les faisceaux de lumière très intense, c'est le violet qui devient le plus facilement blanc. Tous les autres tons peuvent aussi devenir blancs, mais après avoir traversé d'autres teintes. Avant de tourner au blanc, le bleu devient violet pâle; avant de tourner au blanc, le vert devient jaunâtre. Quant au rouge, il devient d'abord jaune pâle et on ne peut guère le faire passer au blanc que par une intensité éblouissante qu'on peut à peine supporter.

C'est ici le lieu de faire remarquer que quand un objet coloré est vu sous un angle visuel de plus en plus petit, sa couleur devient de moins en moins reconnaissable : les expériences de M. Aubert sont précises à cet égard. M. Eug. Fick a également montré que si divers objets diversement colorés, vus sous de très petits angles visuels (des objets de très petit volume par exemple), sont très rapprochés l'un de l'autre, on distingue leur couleur par comparaison, mais que si on les place *isolément* au même angle visuel on ne peut plus reconnaître leur teinte.

Quelques physiologistes ont encore supposé que les parties les plus rapprochées du centre de la rétine seraient seules capables de transmettre la notion des couleurs, tandis que les autres parties de la membrane sensible ne donneraient que la sensation de lumière blanche. Mais il suffit de disposer de chaque côté de l'horizon visuel, aux extrémités du champ de la vision, deux objets colorés pour constater qu'en fixant un autre objet placé bien en face, l'image des objets colorés *qu'on voit sans les regarder*, images qui tombent alors sur des points de la rétine très-éloignés du centre, sont sinon bien distinctes au point de vue des contours, le sont tout au moins au point de vue de la couleur. Cette supposition est donc inacceptable.

[1] M. Helmholtz a démontré à l'aide des rayons colorés du spectre dissociés par un prisme, et associés partiellement, ensuite, à l'aide de lentilles, qu'il y a quatre couples de rayons simples pouvant former du blanc par leur combinaison et que, par conséquent, chaque couleur est *complémentaire* de l'autre dans chacun de ces couples.

Rouge	⟷ Bleu-verdâtre.	Jaune	⟷ Bleu-indigo.
Orangé	⟷ Bleu-cyanique.	Jaune verdâtre	⟷ Violet.

Le vert du spectre n'a pas de couleur complémentaire simple, mais une couleur complémentaire composée de rouge et de violet.

Quant à la cécité partielle ou complète pour les couleurs, imperfection qu'on désigne sous le nom de *daltonisme*, on peut l'expliquer, ou bien parce que les trois sortes d'éléments nerveux qu'on suppose en rapport avec les trois couleurs fondamentales sont partiellement ou totalement impropres à remplir leur fonction, ou bien parce que ces éléments nerveux, quoique distincts, ont une excitabilité exagérée qui transforme en impressions de lumière blanche tout ou partie des impressions colorées.

Illusions de coloration. — Nous parlions plus haut (§ 295) des images consécutives qui apparaissent dans le champ de la vision quand les yeux se sont fermés; mais il peut aussi se produire des *illusions de coloration* et des images consécutives lorsque les yeux restent ouverts.

Voici, entre autres, un phénomène bien curieux et qui vient encore à l'appui de la doctrine des points similaires dont il a été précédemment question. Si l'on place perpendiculairement un écran entre les yeux, et si l'on reçoit isolément dans l'œil gauche un faisceau de lumière rouge, et dans l'œil droit un faisceau de lumière bleu-verdâtre, on ne perçoit qu'une seule impression, celle de la lumière *blanche*. Il en est de même pour tous les faisceaux de lumière qui représentent deux couleurs complémentaires. Les portions similaires des deux rétines ne donnent, en effet, naissance qu'à une seule image, et celle-ci résultant de la superposition de deux couleurs complémentaires, il en résulte la sensation de la lumière blanche. Ce fait nous explique comment, sous certaines conditions d'incidence, les signaux de lumière sur les chemins de fer (généralement ces signaux consistent en feux rouges ou bleu-vert) ont pu induire en erreur les conducteurs de trains et leur faire croire à des feux de lumière blanche, alors que ces feux étaient diversement colorés.

De cette expérience et d'autres dans lesquelles, au lieu de deux couleurs complémentaires, on met en usage des faisceaux de lumière diversement colorés, on peut tirer, avec M. Fechner, cette loi générale : lorsque deux impressions frappent deux points similaires des deux rétines, ou lorsqu'elles frappent le même point d'une seule rétine, le résultat est le même, il n'y a qu'une seule impression, qui est la *résultante* des deux impressions.

Si, après avoir longtemps fixé un écran de couleur rouge, on porte les yeux sur le plafond blanc d'un appartement, on voit apparaître sur le plafond une tache bleu-verdâtre qui bientôt devient rougeâtre, puis de nouveau verdâtre, et ainsi de suite, etc. On peut varier les conditions du phénomène en choisissant d'autres couleurs; les résultats se reproduisent toujours les mêmes, c'est-à-dire que la couleur complémentaire apparaît sur le champ blanc. D'où il résulte que l'ébranlement déterminé sur la rétine par un faisceau de lumière colorée éveille, en se prolongeant, un ébranlement qui fait apparaître la couleur complémentaire. Ce qui a lieu pour une même rétine se produit aussi sur les points similaires de l'autre rétine. L'impression d'une couleur sur une rétine éveille sur le point similaire de l'autre rétine l'impression de la couleur complémentaire. Exemple : fermez l'un des deux yeux, fixez avec l'œil ouvert, et pendant longtemps, un cercle rouge; puis fermez cet œil, ouvrez celui qui était fermé, et dirigez-le sur un fond blanc, vous verrez apparaître une auréole bleu-verdâtre, etc.

§ 296 *bis*.

Du mélange binoculaire des couleurs. — Nous avons vu que deux objets identiques, vus dans la direction des axes optiques, se superposent, se confondent et donnent naissance à une seule image rapportée au sommet de l'angle optique. Il se passe quelque chose d'analogue, mais non de tout à fait semblable, pour les couleurs. Tantôt c'est l'une des couleurs, tantôt c'est l'autre qui domine dans le champ visuel, tantôt enfin c'est une couleur de mélange qui apparaît.

La possibilité du mélange des couleurs dans la vision binoculaire a été fort discutée. Les conditions dans lesquelles se sont placés les observateurs n'ont pas d'ailleurs toujours été les mêmes, et il faut tenir compte aussi des imperfections visuelles individuelles qui sont plus fréquentes qu'on ne le pense.

Voici, d'abord, une expérience très-simple et très-saisissante.

On dispose l'un près de l'autre deux cercles, l'un rouge, l'autre bleu, de même grandeur, de nuance peu foncée, et également éclairés (Voy. fig. 257). On se

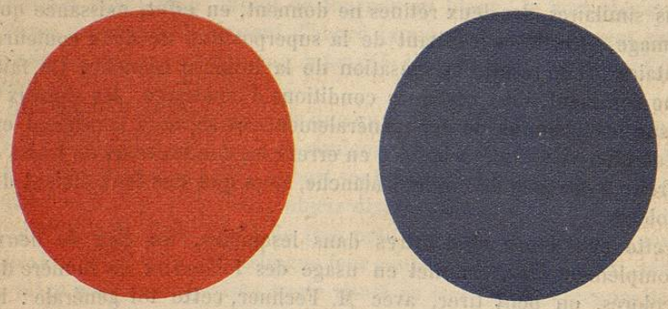

Fig. 257.

place à une distance de 20 à 25 centimètres et on regarde le cercle rouge avec l'œil gauche et le cercle bleu avec l'œil droit.

Au bout de très peu d'instants on voit trois cercles : un à gauche qui est toujours rouge, un à droite qui est toujours bleu ; puis un troisième qui apparaît entre les deux. Ce cercle se montre tantôt bleu, tantôt rouge ; mais jamais il n'est ni aussi bleu, ni aussi rouge que ses voisins de droite et de gauche. En somme le cercle, intermédiaire présente une coloration mixte, dans laquelle tantôt domine le bleu, tantôt le rouge ; tantôt enfin une teinte mélangée, sensiblement égale de bleu et de rouge. On peut aussi, comme l'a indiqué M. Héring, disposer deux cercles blancs sur un fond noir (deux cercles de papier blanc collés sur un tableau noir), placer devant ses yeux des lunettes dont l'un des verres est rouge et dont l'autre est bleu, et fixer avec chaque œil chacun des cercles blancs. Au bout de peu d'instants on aperçoit trois cercles. Les deux images de côté sont monoculaires et ont la couleur du verre correspondant ; le cercle du milieu procède de la superposition binoculaire de l'image rouge et de l'image bleue et donne naissance aux alternatives de l'expérience précédente.

La difficulté du fusionnement complet tend à démontrer que la notion de la couleur tient à des ébranlements nerveux de nature appropriée à chacune d'elles.

L'expérience suivante dans laquelle on cherche, à l'aide d'images noires et blanches, à obtenir le fusionnement des images dans la vision binoculaire montre également que tantôt c'est l'impression de l'œil gauche, que tantôt c'est l'impression de l'œil droit qui domine, et que tantôt enfin l'impression est mixte et se compose des deux impressions. Soit, par exemple, deux carrés *a* et *b* à compartiments noirs et blancs, disposés comme on le voit figure 258, et placés sur un fond légèrement coloré, en jaune par exemple [1].

Si on regarde le carré *a* avec l'œil gauche et le carré *b* avec l'œil droit, au bout de peu d'instants on voit apparaître entre eux l'*image virtuelle* d'un troi-

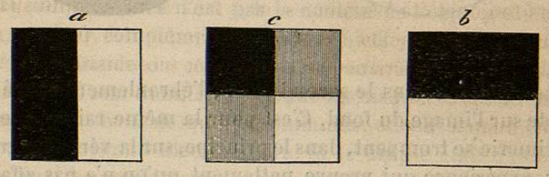

Fig. 258.

sième carré *c*. Ce troisième carré a tantôt l'apparence du carré *a*, tantôt l'apparence du carré *b*, tantôt enfin (et cela arrive au bout d'un certain temps) l'apparence figurée dans la planche 258 en *c*. Cette image virtuelle, *c*, ainsi qu'il est facile de le comprendre par la simple inspection de la figure, n'est que la superposition de *a* et de *b*, superposition dans laquelle les parties noires superposées donnent du noir, les parties noires et blanches superposées donnent du gris, les parties blanches et blanches donnent du blanc.

§ 297.

Images par irradiation. — Couleurs par irradiation. — Applications aux arts. — L'ébranlement communiqué à la rétine par la lumière ne se traduit pas seulement par la persistance plus ou moins durable des impressions de la rétine et par l'apparition des couleurs *consécutives ;* l'ébranlement se transmet *au delà* des points de la rétine, qui sont directement frappés par la lumière. C'est ce dernier phénomène qui donne naissance à ce qu'on appelle *images par irradiation* et *couleurs par irradiation*.

Images par irradiation. — Le phénomène fondamental de l'irradiation (ou du contraste de la lumière et de l'ombre) est connu depuis longtemps ; il consiste en ceci : c'est que ce qui est éclairé est plus clair et paraît plus grand, quand il y a autour un entourage sombre, et paraît au contraire plus sombre et moins étendu quand l'entourage est plus éclairé.

Ce phénomène de vision est dû à l'extension des effets de la lumière dans les points voisins de ceux qui sont soumis à son action immédiate. Voilà pourquoi de deux cercles de même rayon, tracés sur des fonds différents, celui dont

[1] Ce fond ne doit être ni noir ni blanc afin que les deux tons des carrés se détachent du fond.

la surface est noire et le fond blanc (voy. fig. 259, A) paraît plus petit que celui dont la surface est blanche et le fond noir (Voy. fig. 259, B). Dans le premier cas, l'ébranlement de la rétine est plus intense pour le fond et empiète sur

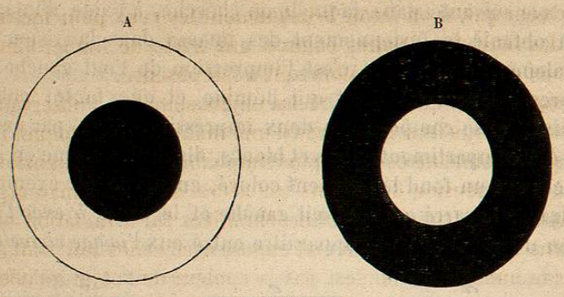

Fig. 259.

l'image du cercle noir ; dans le second cas B, l'ébranlement causé par le cercle blanc empiète sur l'image du fond. C'est pour la même raison que les compositeurs d'imprimerie se trompent, dans le principe, sur la véritable grandeur des *o*.

Voici une expérience qui prouve nettement qu'on n'a pas affaire ici à une simple illusion d'optique, analogue à celle, par exemple, qui nous fait prendre pour grand un homme de moyenne taille s'il se trouve auprès d'un petit, pour petit s'il se trouve auprès d'un homme de haute taille, mais que le phénomène de l'irradiation tient bien à l'excitation de la rétine sur les points voisins du lieu directement impressionné. Soit un disque à secteurs noirs et blancs disposés comme dans la figure 260. Si on imprime à ce disque un mouvement de rotation suffisant, il se partagera en quatre zones qui devraient être, celle du centre noire, et les autres d'une teinte *uniforme* et de plus en plus claires à mesure qu'on se rapproche de la circonférence, conformément à l'expérience fondamentale signalée au § 289. Ce n'est pas cependant ce qui se produit : on peut voir que chaque zone est *plus claire* vers sa partie intérieure limitrophe de la zone plus obscure, et plus foncée dans sa partie extérieure limitrophe de la zone plus claire.

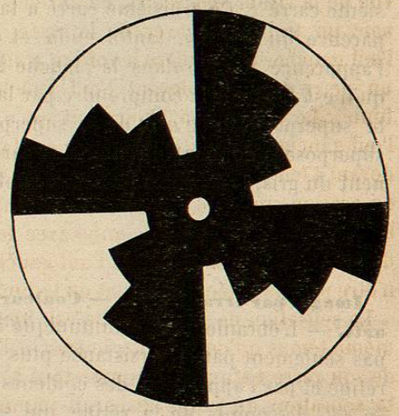

Fig. 260.

Voici d'autres faits qui tous conduisent à la même interprétation.

Lorsqu'on fixe pendant quelque temps une fenêtre vivement éclairée et qu'on ferme ensuite les yeux, l'image *persistante* change au bout de quelques secondes. De lumineux qu'ils étaient, les carreaux deviennent obscurs : les portants et les traverses du châssis de la fenêtre qui étaient obscurs deviennent clairs. Puis la première apparence reparaît, pour se transformer de nouveau et ainsi de suite jusqu'au repos de la rétine.

Fixez, jusqu'à la fatigue, un objet très-éclairé sur un fond obscur. Tout d'abord le fond obscur qui entoure l'objet éclairé paraît plus obscur encore sur les frontières de l'objet. Mais, peu à peu, autour de l'objet éclairé apparaît et s'étend une lueur qui, si on ferme brusquement les yeux pour mettre le champ visuel dans les ténèbres, éclaire, comme une sorte de limbe, l'image persistante de l'objet éclairé devenue alors tout à fait obscure.

Des couleurs par irradiation. — Si les objets soumis à l'observation ne sont pas blancs ou noirs [1], s'ils sont colorés d'une manière quelconque, l'irradiation déterminée sur la rétine ne consiste plus simplement dans l'extension de l'image qui donne à la dimension des objets un accroissement apparent, il survient un autre effet. Les parties de la rétine ébranlées par irradiation ou par voisinage semblent se mettre dans un état opposé avec celles qui sont directement frappées par la lumière, et ce n'est pas la couleur de l'objet qu'elles reproduisent, mais sa couleur complémentaire. Les objets paraissent entourés d'une bande colorée, dite bande ou couleur par *irradiation*. Pour vérifier le fait, il suffit de considérer d'une manière soutenue un disque rouge vivement éclairé sur un fond blanc. Au bout de quelques minutes, on voit apparaître autour du disque rouge une couronne bleu-verdâtre. Si le disque était d'une autre couleur, l'auréole serait complémentaire de cette couleur.

M. Hering a fait sur le sujet qui nous occupe, et particulièrement au point de vue de la vision *binoculaire*, de curieuses expériences. Il trace sur un tableau *noir* un trait *blanc* avec de la craie, puis il *déplace* avec la pulpe du doigt l'œil gauche, de manière à voir ce trait *double*. Il place alors devant l'œil droit un verre bleu et devant l'œil gauche un verre incolore (légèrement enfumé). Le trait vu par l'œil droit est naturellement bleu, mais le trait vu par l'œil gauche devient jaune [2]. On peut aussi faire l'expérience en remplaçant devant l'œil gauche le verre enfumé, par une feuille de papier dans laquelle on pratique un trou à l'aide d'une épingle et qu'on tient appliquée très près de l'œil. De cette manière, comme avec le verre enfumé, on diminue la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil gauche et on permet à la coloration jaune de n'être pas masquée par l'éclat de la lumière.

La sensation de l'œil gauche est bien une sensation de contraste ; car, si en même temps qu'on regarde le trait à l'aide de l'œil gauche *déplacé* et pourvu de son verre enfumé, on couvre tout à coup l'œil droit garni de son verre bleu, la sensation du jaune disparaît immédiatement à gauche. Au lieu du verre bleu on peut placer devant l'œil droit un verre d'une autre couleur ; la coloration du trait pour l'œil opposé sera la complémentaire de la précédente.

Autre expérience. M. Hering trace un trait *noir* sur un fond *blanc*, c'est-à-dire un trait d'encre sur une feuille de papier, puis il regarde ce trait en déplaçant le globe oculaire du côté gauche, et en plaçant également un verre bleu devant l'œil droit et un verre légèrement enfumé devant l'œil gauche. Le trait noir vu par l'œil droit est naturellement entouré d'un champ bleu; quant au trait noir aperçu par l'œil gauche, il s'entoure d'un liséré jaune.

On conçoit aisément comment ce contraste binoculaire fournit le moyen

[1] Le blanc est la réunion de toutes les couleurs ; le noir est l'absence de toute lumière et par conséquent de toute couleur. Le blanc et le noir, seuls, n'ont par conséquent point de couleurs complémentaires.

[2] Le jaune, nous l'avons vu, est *complémentaire* du bleu-indigo.

d'essayer sur soi-même la valeur de ses deux yeux au point de vue de leur sensibilité rétinienne relative.

Cette propriété remarquable de la rétine dans la sensation visuelle a été mise à profit et dans la peinture et dans l'industrie des tissus. Elle montre comment on peut augmenter la valeur des tons par de simples associations de couleurs, comment, au contraire, on peut diminuer cette valeur ou éteindre les couleurs, ainsi qu'on le dit, de manière à donner à l'œil, tantôt l'éclat et la vivacité du coloris, tantôt la douceur et le fondu des teintes.

Deux couleurs complémentaires, placées l'une près de l'autre, semblent, en effet, beaucoup plus riches en couleur que lorsqu'elles sont séparées. La raison en est simple : chacune d'elles réveille sur ses limites la sensation de la couleur qui la borde et augmente d'autant son éclat. Deux ou plusieurs couleurs qui ont à peu près le même ton perdent de leur valeur lorsqu'elles sont placées les unes près des autres ; car, loin d'augmenter leur éclat, l'auréole par irradiation, qu'elles déterminent sur la rétine, ne fait qu'amortir leur impression.

§ 297 *bis*.

Phénomènes entoptiques. — Dans quelques circonstances qui s'écartent des phénomènes ordinaires de la vision, on voit apparaître dans le champ visuel certaines apparences dont la source est dans l'œil lui-même, et qui tiennent à la nature des éléments anatomiques qui entrent dans sa construction. Tantôt ces images sont déterminées par l'ombre portée sur la rétine par certaines parties, moins translucides que les autres, qui entrent dans la structure des milieux transparents de l'œil, tels que les vaisseaux et les noyaux de cellules ; tantôt ces apparences sont, au contraire, de véritables images lumineuses. Nous avons parlé déjà des *phosphènes* déterminés par les ébranlements mécaniques de la rétine en l'absence de la lumière (Voy. §§ 291 et 294). Il ne s'agit pas ici de phénomènes du même genre. Ceux dont il nous reste à parler prennent, au contraire, naissance sous l'influence de la lumière.

Dans les conditions ordinaires de la vision, la quantité de lumière qui entre dans l'œil, d'une part, et, d'autre part, le petit volume des éléments anatomiques (noyaux de cellules) qui entrent dans la composition du corps vitré, font que ces parties, à peine moins transparentes que le reste de la masse vitrée, ne sont pas même soupçonnées ; en d'autres termes, ils ne projettent pas sur la rétine d'ombre sensible[1].

Mais si, *par expérience*, on ne laisse pénétrer dans l'œil qu'un mince filet de lumière, comme, par exemple, en regardant une source lumineuse à travers un trou d'aiguille pratiqué dans un écran opaque, ce filet de lumière, dirigé suivant l'axe optique de l'œil, n'est pas sensiblement dévié, et les parties moins transparentes qu'il rencontre sur sa route se dessinent sur la rétine par des ombres portées qui parsèment le champ lumineux.

Dans la vision ordinaire, c'est-à-dire lorsque la lumière pénètre librement dans l'œil par l'ouverture pupillaire, les vaisseaux qui circulent dans l'épaisseur de la rétine ne sont pas aperçus ; mais, en se plaçant dans certaines conditions

[1] Il ne saurait y avoir, d'ailleurs, on le conçoit aisément, que les noyaux placés dans les parties les plus reculées du corps vitré qui puissent projeter un cône d'ombre capable d'atteindre la rétine.

particulières de vision, on peut faire apparaître le réseau vasculaire ; en d'autres termes, on peut faire naître l'impression de l'ombre portée par les vaisseaux sur le fond de la rétine. Plusieurs procédés peuvent conduire à ce résultat. Faites entrer dans l'œil un faisceau de lumière par une voie tout à fait anormale, en concentrant, par exemple, avec une lentille, la lumière d'une lampe sur un point de la sclérotique ; la lumière, pour arriver à la rétine, devra traverser la choroïde (membrane essentiellement vasculaire), et on conçoit facilement que l'ombre portée par les vaisseaux frappera sur la partie postérieure de la rétine ; on verra, d'ailleurs, cette ombre se déplacer avec les mouvements de la source lumineuse. Cette expérience révèle encore un fait curieux, sur lequel nous avons déjà appelé l'attention, et qui met bien en évidence la propriété qu'a la rétine de reporter ce qui l'affecte dans la direction suivant laquelle lui viennent dans la vision normale les impressions du dehors. Ainsi, l'image obscure des vaisseaux n'est pas vue par l'œil au point où la sclérotique reçoit le faisceau de lumière, mais à l'extérieur, dans la direction de la cornée transparente, et dans le champ de la vision. Tous les mouvements de la source lumineuse entraînent des mouvements analogues dans l'image, toujours aperçue dans le champ normal de la vision.

On peut encore rendre visibles les vaisseaux propres de la rétine, en agitant devant la cornée un écran opaque percé d'une petite ouverture et placé devant une source vive de lumière. Au bout de quelque temps, l'ombre des vaisseaux apparaît sous forme de traînées moins éclairées sur un fond lumineux. La figure 261, qui représente les vaisseaux de la rétine, tels qu'ils apparaissent lorsqu'on examine le fond de l'œil à l'ophthalmoscope, peut donner une idée de la sensation qu'on éprouve dans cette expérience.

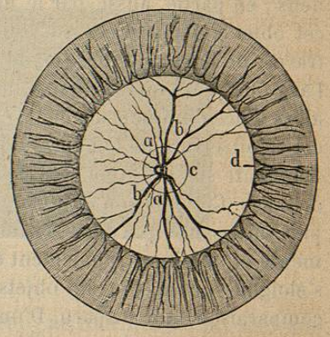

Fig. 261.
VAISSEAUX DE LA RÉTINE.
a, a, rameaux de l'artère centrale de la rétine.
b, b, rameaux de la veine centrale de la rétine.

Mais ce n'est pas toujours à l'état d'*ombre portée* que les éléments anatomiques de l'œil apparaissent dans le champ de la vision. Ils peuvent aussi donner naissance à des images lumineuses. Fixez une nuée blanche, ou un champ de neige, en un mot, un fond blanc vivement éclairé par le soleil : au bout de quelque temps apparaîtront devant vos yeux, à une distance de 1 ou 2 mètres, de petits points brillants, dont l'éclat est proportionné à la clarté du plan que l'on contemple. Le lieu où apparaissent ces points correspond aux parties centrales de la rétine. Les points brillants se multiplient en peu de temps, et l'on constate qu'ils forment des séries, et une sorte de dessin toujours le même, *toujours situé au même lieu*. Ces points brillants, disposés en série, exécutent des mouvements dans une direction toujours la même et avec une même vitesse. Lorsqu'on ferme les yeux, cette apparence s'évanouit presque à l'instant[1]. Les points brillants dont nous venons de parler sont dans un rapport direct avec les glo-

[1] Quelques observateurs doués d'une grande sensibilité peuvent observer ces apparences pendant un certain temps, après avoir fermé les yeux. Elles peuvent donc donner lieu aussi à des images *consécutives*.