trop long dans l'œil myope, il est *trop court* dans l'œil hypermétrope ; d'où il résulte que l'image nette des objets se forme en avant de la rétine dans l'œil myope [1] et en arrière dans l'œil hypermétrope. L'œil myope se comporte comme si ses milieux transparents avaient un pouvoir convergent trop fort, comme s'ils avaient un foyer trop court ; l'œil hypermétrope se comporte comme si ses milieux étaient doués d'un trop faible pouvoir convergent et comme si son foyer était trop long.

En résumé, la myopie et l'hypermétropie dépendent de la construction et de la disposition des parties constituantes du globe oculaire.

La *presbytie*, qu'on confond quelquefois avec l'hypermétropie, est toute autre chose. Elle résulte d'une diminution dans le pouvoir d'accommodation, lequel devient impuissant pour la vision des objets rapprochés. Le *punctum proximum*, qui est la limite maximum du pouvoir d'accommodation, va, en effet, en s'éloignant, à mesure que nous avançons en âge, ce qui veut dire que l'amplitude de l'accommodation diminue d'une manière continue. C'est vers l'âge de 45 ans que nous commençons généralement à nous apercevoir de cette modification dans la distance du *punctum proximum*, et cet allongement de la vue rapprochée s'accentue à mesure que nous vieillissons. Est-ce le cristallin qui cède moins facilement à l'action du muscle de l'accommodation, est-ce ce muscle lui-même qui perd peu à peu son activité première ; il est assez malaisé de le dire. Toujours est-il que l'éloignement du punctum proximum entraîne la diminution de l'angle visuel sous lequel sont vus les objets, de telle sorte que leur image rétinienne diminue dans les mêmes proportions. Il en résulte nécessairement un affaiblissement dans l'acuité visuelle et l'impossibilité de distinguer de petits objets qui n'étaient perceptibles pour nous que parce que nous pouvions les distinguer auparavant à une moindre distance.

Comme on remédie à la presbytie et à l'hypermétropie à l'aide de moyens analogues, on confond souvent entre elles ces deux imperfections visuelles, bien qu'elles diffèrent essentiellement. Un œil *hypermétrope* peut être corrigé par une lentille convenable et devenir un œil normal, c'est-à-dire qu'on peut en faire un œil *emmétrope*. Un œil presbyte ne pourra jamais, même avec la lentille la mieux choisie, devenir un œil *emmétrope*. La première imperfection dépend en effet (comme la myopie, mais en sens opposé) d'un vice de construction de l'œil qu'on peut corriger. La seconde a pour cause l'action imparfaite de l'appareil accommodateur, imperfection dont nous pouvons atténuer les effets mais que nous ne pouvons réformer.

Il est une autre imperfection de l'œil, qui vient souvent ajouter son influence aux anomalies précédentes ; nous voulons parler de l'*astigmatisme* [1].

Les milieux transparents de l'œil ne sont pas limités par des surfaces courbes aussi mathématiquement centrées que celles des lentilles de nos instruments d'optique. Les surfaces des milieux de l'œil, et notamment la surface de la cornée, ne possèdent pas un degré identique de courbure dans leurs différents méridiens ; d'où il résulte que ces méridiens n'ont pas tous des longueurs focales identiques. Dans les conditions ordinaires, et bien que ces différences se rencontrent à des

[1] Les myopes rapprochent instinctivement les objets de leurs yeux pour reculer, jusqu'à la rétine, le foyer de l'image. Les hypermétropes font le contraire.

[2] L'œil *absolument normal* est un type en quelque sorte idéal qui n'est presque jamais réalisé. Les yeux bien conformés s'en rapprochent plus ou moins.

degrés divers sur tous les yeux à peu près, elles sont assez faibles pour qu'il n'en résulte aucun effet appréciable au point de vue de la netteté des images. Il ne devient nécessaire d'y porter remède que dans les cas où ces différences sont anormalement exagérées.

Cette asymétrie de l'œil, alors même qu'elle est assez faible pour passer inaperçue, et qu'elle n'exige d'ailleurs aucune correction, peut être révélée par l'expérience suivante. Soit un groupe de lignes droites se coupant toutes au même point (Voy. fig. 232). Si on regarde attentivement dans son ensemble la figure, il est rare qu'on aperçoive simultanément, avec une égale netteté, chacune des lignes qui la composent ; il faut ordinairement modifier succes-

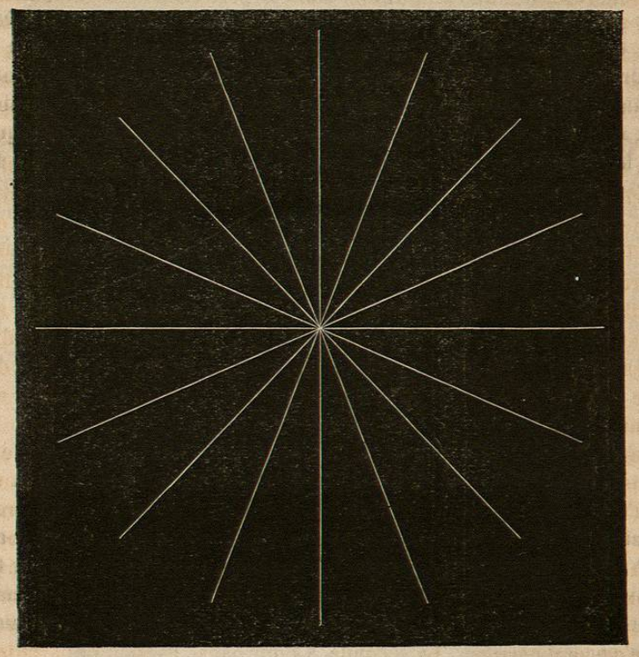

Fig. 232.

sivement l'état d'adaptation de l'œil quand on fixe, tour à tour, les rayons verticaux, les rayons horizontaux, ou les rayons obliques.

Les diverses anomalies dont nous venons de parler peuvent être compensées ou atténuées par l'emploi de lentilles, c'est-à-dire de lunettes d'une forme et d'un foyer appropriés. La nature de ces moyens correctifs dépend soit de la situation du punctum proximum, soit de la situation du punctum remotum, soit de la nature et du degré de l'astigmatisme. Le choix des lunettes dépend donc de la détermination préalable de ces divers éléments ; et c'est pour arriver à cette détermination qu'on a recours à un instrument particulier, l'*optomètre*.

La construction de l'optomètre est fondée sur une expérience très ingénieuse de M. Scheiner, que voici. On pratique dans un écran (dans une carte, par

exemple), et *dans la direction horizontale,* deux trous d'épingle, à une distance *moindre que le diamètre de la pupille.* On applique cet écran devant l'un des yeux, et on regarde, au travers des trous, une ligne noire, perpendiculaire, tracée par avance sur une feuille de papier blanc, ou un fil noir collé perpendiculairement sur le carreau d'une fenêtre bien éclairée. Pour l'observateur placé à une certaine distance de la ligne, celle-ci paraît simple. Mais, si l'observateur se rapproche peu à peu de l'objet, il arrive un moment où la ligne devient double, et les deux images s'écartent de plus en plus à mesure qu'on s'en rapproche davantage.

Voici ce qui se passe dans l'œil (Voy. fig. 233). Supposons l'observateur très rapproché de l'objet. Soit P un point pris sur le fil noir; soit *m*, *n*, la coupe de la carte placée devant la pupille. Les deux faisceaux de lumière très étroits P*m*, P*n*, transmis par les trous de la carte, se formeront en foyer au point *o*, c'est-à-dire au delà de la rétine. Il se produira en conséquence aux points *c c'*, là où les faisceaux de lumière rencontreront la rétine, deux impressions distinctes, ou deux images, et l'objet sera vu dans les deux directions *c* P', *c'* P'' qui représentent les normales au point *c* et *c'*; et en vertu d'une propriété de la rétine

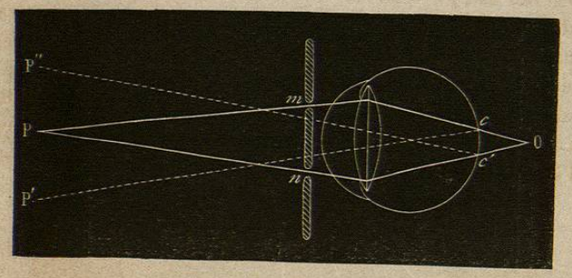

Fig. 233.

sur laquelle nous reviendrons, les images en seront reportées en P' et P''. Si l'objet P se rapprochait encore de l'écran, le foyer se formerait au delà du point *o*, les points *c c'* par lesquels les faisceaux de lumières rencontrent la rétine deviendraient plus distants l'un de l'autre, et les deux images paraîtraient plus distantes encore.

L'expérience de la carte aux deux trous montre aussi que l'image, en même temps qu'elle n'est simple qu'à une distance déterminée, n'est parfaitement *nette* que quand la vision fournit une seule image. En effet, lorsqu'on fait apparaître les deux images, en se rapprochant de l'objet, en même temps qu'elles deviennent doubles ces images perdent de leur netteté. C'est ce que la figure 234, qui n'est que la figure 233 complétée, fera facilement comprendre.

Nous avons supposé en effet que les faisceaux de lumière qui s'engagent par les trous de la carte ne rencontrent la rétine que par des points; il n'en est pas rigoureusement ainsi. L'objet très rapproché et situé au point A (fig. 234) envoie aux trous de la carte BB non pas un seul rayon lumineux pour chaque trou, mais un cône lumineux qui a pour base l'aire du trou de la carte, et les deux cônes de lumière qui continuent, après réfraction, leur trajet intra-oculaire, pour se réunir en foyer au delà de la rétine R, rencontrent celle-ci non par des points mais par des cercles de diffusion *a a'*. Aussi les images reportées dans

la direction *x* et *x'* sont moins nettes que les images dont le foyer est à la rétine, alors que la distance de l'objet est convenable.

L'expérience de la carte à deux trous, tout en révélant la réalité des phéno-

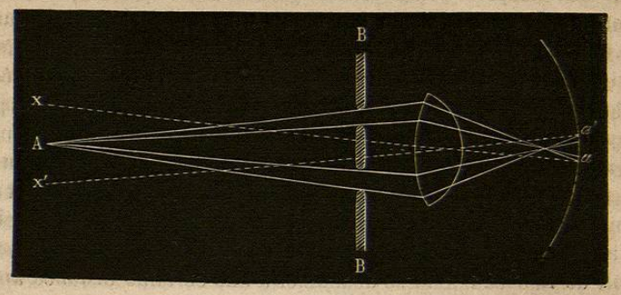

Fig. 234.

mènes de l'accommodation, permet encore d'en mesurer l'étendue. Soit en effet une carte ou écran MN, percé de deux ouvertures très rapprochées (Voy. *fig.* 235), et plaçons deux objets, deux épingles par exemple, piquées verticalement sur une table, l'une *a* à 30 centimètres de l'œil, l'autre *b* à 1 mètre, toutes les deux dans la projection de l'axe oculaire. Si, avec l'œil en expérience l'on fixe l'épingle *a*, l'épingle *b* paraîtra double; si nous fixons l'épingle *b*, l'épingle *a* paraîtra double à son tour. La figure 235 représente la phase de l'expérience durant laquelle l'observateur fixe l'épingle *a*. On voit que, dans ces conditions, l'image de l'épingle *a*

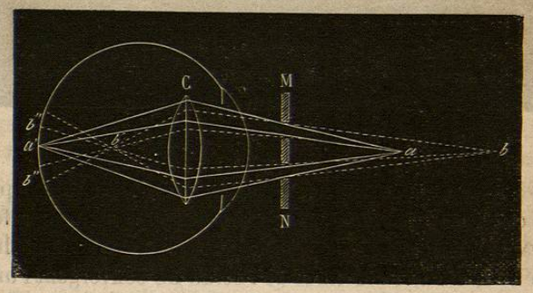

Fig. 235.

tombe en *a'* sur la rétine, tandis que les faisceaux de lumière partis de l'épingle *b* se croisent dans l'œil au point *b'* et rencontrent la rétine sur deux points *b''* et *b''* où elle engendre deux images. On voit de plus que ces deux images ne sont pas *nettes*, car la rétine est rencontrée non par des points focaux mais par des cercles de diffusion.

L'œil ne peut donc voir *simultanément* et *distinctement* des objets situés à des distances différentes. Nous avons déjà signalé au § 284 un certain nombre d'expériences démonstratives du même genre.

Les instruments désignés sous le nom d'*optomètres* reposent tous sur le principe de l'expérience de Scheiner. En voici un très simple : au lieu d'une carte, supposez un écran percé de deux trous très rapprochés ou plutôt (et cette disposition est d'une exécution plus facile et en même temps plus exacte) de deux

fentes verticales très étroites et très rapprochées. Placez l'œil devant ces deux fentes et regardez un fil blanc de 1 mètre ou 2 de longueur tendu longitudinalement et dans la direction de l'axe visuel et se détachant sur un fond noir. La portion du fil la plus voisine de l'œil paraît double, par ce que l'œil ne peut pas s'accommoder pour la vision des objets trop rapprochés. Ces deux images semblent converger l'une vers l'autre, et se confondent en une seule, à une distance de l'œil qui pour les personnes douées d'une vue normale est précisément égale à 22 centimètres; qui pour les myopes est plus petite, qui pour les presbytes est plus grande. Cette distance, à laquelle l'objet est vu simple, indique la position du *punctum proximum* pour l'œil de la personne qui regarde. Au delà du punctum proximum le fil est vu simple dans toute sa longueur. Mais ce dernier résultat n'est vrai que pour l'œil régulièrement conformé qu'on appelle *emmétrope*, et aussi pour l'œil *hypermétrope;* cela ne l'est plus pour l'œil *myope*. L'œil myope voit de nouveau le fil se dédoubler à une certaine distance au delà du *punctum proximum*, distance qui varie avec le degré de la myopie, et qui indique en même temps, pour l'œil myope, la position de son *punctum remotum* [1].

Voici, en effet, ce qui se passe pour l'œil myope (Voy. *fig.* 236). Si A représente le point du fil suffisamment éloigné pour que son image redevienne

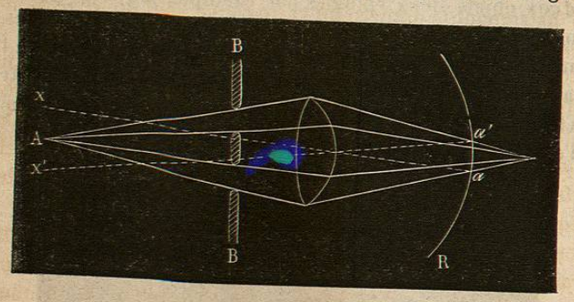

Fig. 236.

double, c'est parce que cet œil est construit de telle sorte que les objets situés à peu de distance du *punctum proximum* forment leur foyer ou leur image en avant de la rétine. C'est-à-dire que les faisceaux lumineux qui s'engagent au travers des ouvertures de l'écran BB convergent l'un vers l'autre, forment leur foyer avant la rétine, et continuant leur trajet tombent isolément par les points *a a'*, formant ainsi deux images, reportées par celui qui regarde dans la direction suivant laquelle ils frappent la rétine, c'est-à-dire aux points *x* et *x'*.

L'optomètre dont nous venons de parler n'est pas portatif; il n'est pas d'ailleurs d'une grande précision. Il en est d'autres, plus précis et plus pratiques. Tel est, entre autres, l'optomètre de MM. Perrin et Mascart. Il consiste en un tube de laiton à l'extrémité duquel est placé un écran dépoli transparent, sur lequel sont représentées des lettres ou des lignes orientées dans des directions diverses. A l'autre extrémité du tube est une lentille (biconvexe) convergente par laquelle on regarde.

[1] Pour l'*œil normal*, le *punctum remotum*, nous l'avons vu, est à une distance qu'on peut considérer comme *infinie*.

Enfin, dans l'intérieur du tube il y a une lentille divergente (biconcave) à plus court foyer que la lentille biconvexe ou oculaire.

La distance qui sépare l'oculaire de la lentille divergente intérieure peut varier, la lentille intérieure étant mobile en avant ou en arrière à l'aide d'un pignon. Ce pignon pourvu d'un index indique sur une échelle graduée la situation réciproque des deux lentilles d'où on induit les qualités de l'œil qui regarde dans l'instrument.

Le sujet en observation se place devant l'oculaire et fait marcher le pignon, soit en avant soit en arrière. Quand la lentille intérieure est amenée par le pignon au zéro médian de l'échelle graduée, le système à foyer variable est disposé de telle sorte que, dans cette position, l'œil *normal* distingue le plus nettement possible le dessin de l'écran transparent. Le milieu de l'échelle répond par conséquent à l'œil *emmétrope*.

Quand, pour arriver à la netteté de l'image, le pignon doit *éloigner* la lentille mobile au delà du milieu de l'échelle, c'est que l'œil est hypermétrope; quand le pignon doit, au contraire, *rapprocher* la lentille mobile du côté de l'oculaire, c'est que l'œil est myope. Les degrés d'éloignement ou de rapprochement mesurent les degrés d'hypermétropie ou de myopie. L'index indique sur l'échelle graduée de l'instrument le numéro du verre convergent ou divergent convenable pour corriger l'*hypermétropie* ou la *myopie* du sujet.

A l'aide de l'optomètre de M. Perrin on peut également déterminer le sens et le degré de l'astigmatisme. A cet effet on se sert de l'écran qui porte des lignes parallèles, et après avoir mis la lentille mobile au point, on fait tourner l'écran suivant des distances angulaires mesurées à l'aide d'un cercle gradué.

L'optomètre peut donc nous renseigner sur toutes les anomalies de la vision, et nous indiquer en même temps les moyens d'y remédier.

L'œil myope, nous l'avons vu, se comporte comme un appareil réfringent dont le foyer serait trop court et tomberait en avant de la rétine; l'œil hypermétrope comme un appareil réfringent dont le foyer serait trop long et tomberait en arrière d'elle. Il faut donc corriger l'œil myope à l'aide de verres concaves et l'œil hypermétrope à l'aide de verres convexes, convenablement choisis.

Supposons qu'un œil myope cesse de voir nettement les objets à une distance de 60 centimètres du globe de l'œil (c'est-à-dire un œil dont le *punctum remotum* est à 60 centimètres). Il faudra, pour que l'image d'un objet placé à une très grande distance (à l'infini par exemple) tombe sur la rétine, il faudra, dis-je, imprimer aux rayons lumineux qui pénètrent dans l'œil une direction semblable à celle qu'ils posséderaient s'ils émanaient d'un objet placé à 60 centimètres de l'œil. On arrivera à ce résultat en plaçant au-devant de l'œil une lentille concave de 60 centimètres de foyer. Cette lentille substitue à l'objet situé à l'infini une image virtuelle de cet objet placée à distance convenable.

La correction de l'œil hypermétrope et de l'œil presbyte (nous avons vu plus haut que ces deux imperfections tiennent à des causes différentes) exige l'emploi d'une lentille convexe qui rend distincts les objets placés à courte distance, cette lentille ajoute son pouvoir réfrigent à ceux des milieux de l'œil et vient au secours des efforts impuissants de l'accommodation.

Quant à l'astigmatisme, on corrige cette imperfection de la vision à l'aide de *verres cylindriques* convergents ou divergents. Ces verres augmentent ou diminuent le pouvoir réfringent de l'œil dans la direction parallèle à leur axe de

courbure. L'optomètre indique le degré de la courbure cylindrique qu'il faut donner au verre correcteur, et aussi l'orientation qu'il faut donner à l'axe de courbure, suivant le méridien de l'œil qu'il s'agit de modifier.

SECTION II

Propriétés physiologiques de la rétine. — Physiologie de la sensation visuelle.

§ 287.

L'impression a lieu sur la rétine. — Du punctum cæcum. — De la tache jaune. — De l'ophtalmoscope. — Sur quelle partie de l'œil se fait l'impression de la lumière? La rétine est-elle la membrane sensitive chargée de recevoir cette impression? Aujourd'hui cela ne fait plus question.

A une autre époque, un physicien célèbre, Mariotte, et un physiologiste distingué, Lecat, émirent des doutes sur le rôle de la rétine, et transportèrent à la choroïde la faculté de l'impression. Cette opinion reposait sur les arguments suivants : 1° une expérience, faite pour la première fois par Mariotte, prouve que la partie de la rétine qui correspond, au fond de l'œil, à l'insertion du nerf optique, est insensible à la lumière ; 2° le seul point du fond de l'œil où la sensation de la lumière fait défaut est le seul où la choroïde manque (la choroïde est percée en ce point pour laisser passer le nerf optique) ; 3° la transparence de la rétine laisse pénétrer les rayons lumineux à travers son épaisseur jusqu'à la choroïde.

L'expérience de Mariotte consiste à tracer, à la même hauteur et à 15 centimètres de distance, deux cercles [1] blancs de 3 centimètres de rayon sur un tableau noir. On se place ensuite en face du tableau, et, fermant l'œil gauche, on fixe le cercle du côté gauche avec l'œil droit : on voit ainsi, non seulement le cercle qu'on fixe, mais encore celui qui est placé à côté ; mais si on s'éloigne peu à peu du tableau, il arrive un moment où l'on n'a plus que la sensation d'un seul cercle, le cercle du côté gauche, sur lequel la vue est fixée ; quant au cercle droit, il cesse d'être vu. Or, le moment où l'on ne voit plus qu'une seule image correspond précisément à la projection des rayons de l'objet qui cesse d'être vu sur la partie de la rétine par laquelle elle se rattache au nerf optique. Ce qui le prouve, c'est qu'en s'éloignant de nouveau, la vision des deux objets reparaît, à mesure que le foyer des images change de place sur la rétine.

On peut répéter l'expérience de Mariotte en réduisant les dimensions des cercles blancs, ainsi que leur distance. Placez-vous en face et très près de la figure 237 et fermant l'œil gauche avec la main, fixez le cercle blanc placé à *gauche* de la figure, avec l'œil *droit;* vous verrez en même temps, distinctement, le cercle placé à droite. Éloignez peu à peu la tête, et à une distance de 20 à

[1] Nous disons deux *cercles*, et non pas deux circonférences. Ce qu'il y a de mieux, c'est de découper deux cercles de papier et de les coller sur un tableau noir.

25 centimètres, le cercle de droite disparaît ; éloignez la tête davantage et le cercle de droite redevient visible.

Au lieu de diminuer la dimension des objets dont on cherche expérimentalement à faire c oncorder l'image avec le punctum cæcum, on peut au contraire l'augmenter, et rendre l'expérience bien plus saisissante encore. On se

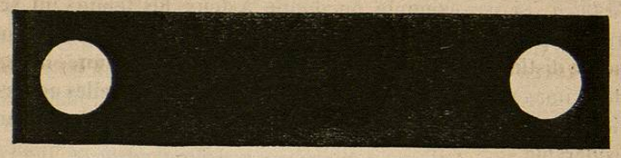

Fig. 237.

place en face de deux personnes de même taille, et placées côte à côte. Lorsqu'on regarde la tête de la personne qui est à gauche avec l'œil droit (l'œil gauche étant fermé), on voit en même temps les deux têtes ; mais si on s'éloigne de deux mètres à deux mètres et demi environ, la tête de droite disparaît tout d'un coup [1].

Il y a donc pour la rétine un point qu'on peut regarder comme insensible à la lumière. Ce point correspond exactement à l'entrée du nerf optique dans l'œil, à l'endroit qu'on nomme le *punctum cæcum* ou encore la *papille*, parce qu'à cet endroit qui correspond à l'épanouissement du nerf optique, la rétine forme une légère saillie [2]. Le *punctum cæcum*, nous l'avons vu, mesure environ $1^{mm},5$ de diamètre. Les rayons lumineux qui tombent en cet endroit traversent, comme d'ailleurs sur toute l'étendue de la rétine, les éléments nerveux transparents qui la composent. Mais la rétine n'est point doublée en ce point par la choroïde et n'offre point la couche pigmentaire qui est l'une des conditions adjuvantes les plus importantes de la sensation lumineuse : en outre, et surtout, il n'y a dans ce point de la rétine ni *cônes* ni *bâtonnets*, éléments indispensables pour la sensation lumineuse [2].

Rappelons que le nerf optique n'entre pas dans l'œil suivant l'axe visuel, mais par le côté et de telle sorte que le siège des images rétiniennes ne peut correspondre, *en même temps*, sur cette même portion des deux rétines, dans les conditions ordinaires de la vision (V. §. 293).

Remarquons encore que quand l'une des images se dessine sur le *punctum cæcum*, dans l'expérience de Mariotte, l'autre image tombe toujours sur la portion de la rétine, qu'on nomme *la macula* ou tache jaune. Or nous l'avons dit déjà, toutes les fois que nous voulons voir nettement un objet, nous faisons toujours coïncider l'image de cet objet avec la tache jaune ; ce point répond en effet à la portion la plus sensible de la rétine. Quand nous lisons, nous ne voyons distinctement que les mots dont les images se peignent entièrement sur la tache jaune, c'est-à-dire un mot ou deux suivant la longueur du mot et la grosseur du texte.

[1] C'est un divertissement auquel se livrait volontiers le roi d'Angleterre, du temps de Mariotte.

[2] Le *punctum cæcum* correspondant à l'entrée du nerf optique dans l'œil est circulaire comme le nerf lui-même, mais il n'a pas l'étendue du diamètre de ce nerf. Le nerf optique éprouve une sorte d'étranglement au moment où il pénètre au travers des membranes du globe oculaire. M. Wiesener estime, d'après des expériences délicates de vision, que cette portion à peu près insensible de la rétine a environ 1 millimètre et demi de diamètre chez l'homme.