

Nous ne sommes pas convaincu par ce raisonnement, car l'équation du rendement n'est pas applicable à ce cas où, comme le montre une analyse même sommaire, on ne trouve pas les conditions pour lesquelles elle a été établie.

338. — Pour M. Chauveau, qui s'est beaucoup occupé de la question, l'énergie produite dans l'organisme par les actions chimiques n'est pas transformée en chaleur, elle est utilisée à la *création de l'élasticité de contraction*, ce que nous exprimerons autrement en disant qu'elle passe à l'état d'énergie potentielle d'une nature particulière; ce serait cette énergie potentielle qui, lors de la production d'un travail mécanique, se transformerait en énergie actuelle. « La production de la chaleur, dit ce savant, n'intervient pas dans le mécanisme intime de la contraction musculaire, comme un commencement, mais comme une fin. La chaleur sensible qui apparaît est un résidu, une sorte d'*excretum*, résultat de la transformation thermique du travail physiologique représenté par la création de l'élasticité de contraction. »

Nous ne pouvons discuter les conclusions que M. Chauveau tire de ses expériences, conclusions qui ne nous semblent pas cependant à l'abri de toute objection; mais nous ne pouvons pas ne pas les indiquer, car elles présentent la question sous une nouvelle face et s'appuient sur des expériences multipliées.

En résumé, il n'est pas douteux que les combustions qui se passent dans l'organisme ne soient, par l'énergie qu'elles abandonnent, la source de la chaleur dégagée par les êtres vivants et qu'elles ne soient également l'origine de l'énergie que ces êtres peuvent manifester sous forme de travail mécanique. Mais on ne saurait affirmer actuellement si l'énergie dégagée par les actions chimiques peut fournir du travail mécanique par une transformation directe ou si la transformation ne peut se faire que d'une manière indirecte, l'énergie dégagée par les actions chimiques devant passer, soit par la forme chaleur, soit par une autre (création de l'élasticité de contraction?) avant de produire du travail mécanique.

339. — Les actions chimiques qui se passent dans l'organisme des êtres vivants ont donc à subvenir, d'une part, aux pertes de chaleur variables dont nous avons parlé et aussi, directement ou indirectement, au travail mécanique produit par ces êtres; elles doivent donc être incessamment variables et doivent se proportionner, au moins sensiblement, aux dépenses d'énergie effectuées: il faut donc qu'il y ait un moyen de régulation. Sans insister, car la question sort du domaine de la physique, nous dirons que la grandeur des actions chimiques est liée à la quantité de sang qui circule dans les organes, quantité qui varie suivant les circonstances et se trouve ainsi sous la dépendance du système nerveux par l'intermédiaire duquel se fait la régulation de la production d'énergie dans l'organisme.

LIVRE III

OPTIQUE. — RADIATIONS

CHAPITRE PREMIER

OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

ART. I. — NOTIONS PRÉLIMINAIRES. — PROPAGATION. — DIFFUSION

340. **De la sensation lumineuse ou lumière.** — On désigne sous le nom de *lumière* la sensation spéciale qui résulte de la mise en activité de l'organe de la vision, de l'œil; on la nomme également souvent sensation lumineuse.

On ne peut pas définir cette sensation qui est, comme toutes les sensations, un phénomène subjectif, et l'on peut seulement, pour la faire connaître à ceux qui l'ont déjà éprouvée, rappeler dans quelles circonstances ils l'ont ressentie. Diverses actions peuvent nous procurer cette sensation: ce sont, par exemple, l'influence de certains états cérébraux, non définis matériellement, l'ingestion de quelques substances médicamenteuses ou toxiques, les actions mécaniques ou électriques auxquelles on soumet directement le nerf optique. Mais ce sont là des effets exceptionnels qui ne représentent pas les conditions normales de la mise en activité de l'organe de la vision.

Dans les conditions ordinaires de la vision, la cause des sensations lumineuses que nous éprouvons est extérieure à nous, elle est objective, elle réside dans les corps que nous voyons, c'est-à-dire dont nous avons connaissance grâce à elle. Au début, dans l'enfance, les indications fournies par l'organe de la vision doivent être corroborées, vérifiées, corrigées par le sens du toucher; mais, à partir d'un certain âge, l'éducation de l'œil est faite à ce point de vue et les notions que cet organe fournit suffisent par elles-mêmes, en général.

Nous nous occuperons seulement des sensations lumineuses qui ont des causes objectives.

341. — En cherchant à analyser les sensations lumineuses produites

dans des conditions différentes, on trouve que les sensations de cet ordre peuvent différer les unes des autres, et que l'on peut ramener à trois, véritablement différents, les caractères qui permettent de distinguer une sensation lumineuse d'une autre. On a donné à ces caractères les noms d'*intensité*, de *couleur* et de *forme*.

Nous ne pouvons pas définir les caractères de la sensation lumineuse plus complètement que la sensation même; ils sont, d'ailleurs, trop généralement connus pour qu'il soit nécessaire d'insister, et nous savons tous à quoi correspondent les noms des caractères de la sensation.

342. — Les corps qui produisent en nous la sensation lumineuse ne sont pas tous dans les mêmes conditions; les uns sont visibles par eux-mêmes, indépendamment de l'existence de tout autre corps, comme le soleil, les flammes, les corps amenés à l'incandescence, les animaux luisants, etc.; ils sont appelés *corps lumineux*; d'autres, au contraire, n'agissent pas par eux-mêmes sur l'organe de la vision et ne font naître la sensation lumineuse que s'ils subissent l'action, l'influence de corps lumineux; ce sont les planètes et tous les corps qui nous entourent et qui sont à la température ordinaire: ils sont dits *corps éclairés*.

Lorsqu'on interpose entre un corps lumineux et notre œil une lame d'une substance quelconque, différents cas peuvent se présenter:

L'interposition de cette lame peut empêcher de voir le corps, d'être averti de l'existence d'une source de lumière: on dit alors que la lame est *opaque*;

Il peut arriver, au contraire, que l'interposition de la lame n'éteigne pas la sensation lumineuse et qu'elle permette de distinguer non seulement l'existence, mais encore la forme du corps lumineux (nous laissons de côté la couleur): la lame est *transparente*;

Enfin, la lame interposée empêche de voir le corps lumineux, de distinguer sa forme; mais elle n'éteint pas la sensation lumineuse, cette lame agissant alors comme corps éclairé: la lame est dite *translucide*.

343. **Hypothèses sur la cause de la lumière. Émission.** — Nous ne connaissons pas d'une manière absolument certaine la manière dont les corps agissent à distance sur l'œil pour produire la sensation lumineuse: de nombreuses hypothèses ont été imaginées à cet égard, une seule subsiste qui paraît donner l'explication de tous les phénomènes observés, c'est la *théorie des ondulations*.

Cette théorie qui se présente certainement avec des caractères de grande probabilité a l'inconvénient de mal se prêter à l'explication des phénomènes les plus simples et les plus fréquents de l'optique: elle les explique absolument, mais d'une façon qui n'est pas élémentaire, pour ainsi dire. Aussi pour ces premiers phénomènes a-t-on pris l'habitude de faire usage d'une hypothèse qui est insuffisante pour un grand nombre de cas et qui ne convient que lorsqu'il s'agit de faits qui ne sont pas étu-

diés avec précision, de faits qui sont observés un peu sommairement comme le sont ceux qui appellent notre attention chaque jour, à chaque heure: cette hypothèse est celle de l'*émission* que nous emploierons d'abord, nous réservant de revenir sur la théorie des ondulations dans un autre chapitre. (Voir *RADIATIONS*.)

344. — Dans la théorie de l'émission, on admet que les corps lumineux envoient, émettent, à chaque instant et dans toutes les directions, une infinité de particules infiniment petites d'une substance spéciale, d'un agent de nature inconnue: on a donné à cet agent le nom de *lumière*. Ces particules se meuvent dans le vide, elles peuvent pénétrer dans certains corps qu'elles traversent, elles sont arrêtées par d'autres, sur lesquelles elles rebondissent, pour ainsi dire; lorsque ces particules arrivent à l'œil, elles vont choquer, au fond de cet organe, une membrane sensible, la *rétilne*: c'est ce choc, qui amène dans la rétilne une modification de nature inconnue qui, transmise au cerveau par l'intermédiaire du nerf optique, est la cause de la sensation lumineuse.

Considérons une molécule émise à un instant par un point A d'un corps lumineux: cette molécule parcourra une trajectoire dont la forme sera déterminée par les milieux qu'elle traverse; mais ce point A émettra un instant après et dans une série d'instant successifs des molécules qui, pendant un certain temps, seront dans les mêmes conditions, ces conditions pouvant changer ultérieurement par suite de modifications quelconques subies par le corps. Mais toutes les molécules, émises dans les mêmes conditions, devront nécessairement parcourir la même trajectoire; cette trajectoire d'une molécule lumineuse, jalonnée pour ainsi dire sur tout son parcours par une série d'autres molécules lumineuses, constitue ce qu'on appelle un *rayon lumineux*.

Il importe de remarquer que nous ne voyons pas les rayons lumineux, qu'ils ne nous apparaissent pas sous forme de lignes brillantes sillonnant l'espace, ils produisent la sensation lumineuse lorsque notre œil se trouve sur leur direction et qu'ils y pénètrent: dans toute autre condition, les particules lumineuses ne peuvent agir sur la rétilne, et la sensation ne se produit pas. Nous donnerons plus loin l'explication des faits qui peuvent sembler en contradiction avec cette indication formelle.

345. **Optique géométrique.** — La recherche des causes et conditions qui donnent naissance à la sensation lumineuse même n'est pas du domaine de la physique. Au point de vue où nous avons à nous placer, la question s'arrête à l'impression que subit la rétilne: les changements que cette membrane peut éprouver, les modifications qui peuvent en résulter dans le nerf optique et dans le cerveau sont absolument en dehors de notre programme. Mais, par contre, nous devons chercher à expliquer comment les impressions que subit la rétilne présentent des

différences susceptibles d'expliquer les différences de sensations éprouvées; nous devons notamment chercher à quelles particularités optiques se rattachent les caractères particuliers de la sensation lumineuse. Nous dirons que l'intensité est liée à la quantité de lumière, la couleur aux différences de composition qu'elle peut présenter; la forme, enfin, ne dépend que de la marche des rayons lumineux, de la direction qu'ils ont en entrant dans l'œil et de celle qu'ils prennent dans cet organe. Nous étudierons successivement ces trois ordres de questions, et nous nous occuperons d'abord des lois qui régissent la marche des rayons lumineux: l'ensemble de ces lois et des faits qui s'y rattachent directement constitue l'optique géométrique.

346. Propagation rectiligne de la lumière. — On admet, dans l'hypothèse de l'émission, que les particules lumineuses obéissent aux lois de la mécanique, se comportant comme des corps élastiques, et que, en passant dans divers milieux, elles y éprouvent des résistances différentes.

On conclut de là, en vertu de l'inertie (XXXIII), que dans un milieu homogène, les particules lumineuses doivent se mouvoir en ligne droite: les rayons lumineux sont rectilignes. D'autre part, à la surface des corps qu'elles rencontrent, ces particules doivent changer de direction, soit qu'elles rebondissent par suite du choc, soit qu'elles pénètrent dans le corps. Ces considérations sont en concordance générale avec les principaux faits que nous allons étudier, relativement à la propagation rectiligne de la lumière, à la réflexion et à la réfraction.

On ne connaît pas les particules lumineuses dont nous venons de supposer l'existence: il n'est donc pas possible de vérifier directement l'hypothèse que nous admettons. Mais de cette hypothèse on peut déduire, par le raisonnement, certaines conséquences accessibles à l'observation ou à l'expérience; nous aurons à rechercher si l'accord existe entre les prévisions de la théorie et les résultats de l'expérience. Si cette concordance n'existe pas, on peut conclure à la fausseté de l'hypothèse; mais si la concordance existait pour un certain nombre de faits, on ne pourrait être assuré de son exactitude, car il suffirait d'un fait nouveau, non encore étudié, pour lequel il y aurait désaccord, pour rendre l'hypothèse inacceptable.

347. Faisceaux lumineux. — Examinons les conséquences premières de l'hypothèse de l'émission, celles qui se rapportent à la propagation de la lumière dans un milieu physiquement homogène, d'un milieu *isotrope*, c'est-à-dire d'un milieu dans lequel non seulement la constitution chimique est partout la même, mais encore dans lequel, autour de chaque point, la constitution physique, le groupement moléculaire soit le même dans toutes les directions.

Comme nous l'avons dit, en appliquant à ce cas le principe de l'inertie,

on conclut que les trajectoires des molécules lumineuses, que les rayons lumineux doivent être rectilignes. On ne peut étudier ces rayons qu'il est impossible d'obtenir expérimentalement, mais on peut obtenir des *faisceaux* lumineux formés par la réunion de rayons lumineux. Les formes de ces faisceaux peuvent être absolument quelconques, mais nous nous occuperons plus spécialement d'un cas particulier, celui dans lequel les rayons constituant le faisceau ont des directions qui, toutes, vont passer par un même point: le faisceau est dit alors *homocentrique*.

Les rayons qui constituent un faisceau homocentrique peuvent avoir plusieurs dispositions les uns par rapport aux autres:

1° A partir d'une section déterminée HI (fig. 115), les rayons vont en s'écartant les uns des autres de manière qu'une section JK du faisceau prise au delà de la précédente dans le sens de la propagation soit plus étendue que la section primitive HI: le faisceau est alors *divergent*. Ce cas est celui qui se présente lorsque la lumière part d'un point lumineux A qui est le *sommet* du cône constituant le faisceau homocentrique. Mais on peut observer de semblables faisceaux (fig. 116) qui ne viennent pas directement d'un point lumineux, mais qui, à l'endroit considéré, ont cependant cette même forme.

Dans un semblable faisceau l'angle JAK que font entre eux les rayons extrêmes mesure le *degré de divergence* du faisceau.

Si, pour une section déterminée HI, le sommet du cône s'éloigne indéfiniment, le degré de divergence diminue et tend vers 0. A la limite, lorsque le sommet est infiniment éloigné, le faisceau est dit *parallèle* ou *cylindrique* (fig. 117). Dans ce cas, deux sections HI, JK quelconques ont les mêmes dimensions.

2° A partir d'une section déterminée HI (fig. 118), les rayons constituant le faisceau considéré vont en se rapprochant les uns des autres, de sorte qu'une section JK prise après la première dans le sens de la propagation soit moins étendue que la section primitive HI: le faisceau est dit alors *convergent* et le *degré de convergence* est mesuré par l'angle des rayons extrêmes.

Un semblable faisceau ne résulte pas de l'action directe d'un point lumineux et provient nécessairement de modifications antérieures subies par un faisceau émané d'un point lumineux.

Il peut arriver que les rayons lumineux continuent jusqu'à leur ren-

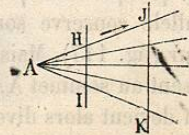


Fig. 115.

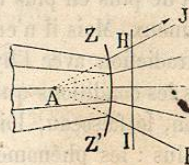


Fig. 116.



Fig. 117.

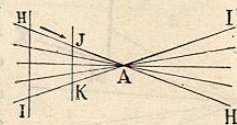


Fig. 118.

contre, jusqu'au sommet du cône; il peut arriver, au contraire (fig. 119), que ces rayons soient interceptés auparavant et que les *directions* des rayons seules passent par ce sommet. Dans l'un et l'autre cas, le faisceau est convergent.

Si le sommet du faisceau s'éloigne dans le sens de la propagation de la lumière, la convergence diminue et devient nulle quand le sommet est à l'infini. Le faisceau est alors cylindrique ou parallèle. Cette forme de faisceau peut donc être considérée, à volonté, comme la limite d'un faisceau convergent ou comme celle d'un faisceau divergent dont le sommet s'éloigne à l'infini.

Il est important de remarquer qu'un faisceau divergent reste divergent quelque loin qu'on le prolonge (fig. 115 et 116); qu'un faisceau parallèle conserve son parallélisme également quelle que soit sa longueur (fig. 117). Mais les rayons qui forment un faisceau convergent se croisent au sommet A, s'ils ne sont pas interceptés auparavant, et le faisceau devient alors divergent (fig. 118).

Il semblerait qu'en considérant un faisceau parallèle dont on restreindrait de plus en plus la section, on devrait obtenir, à la limite, un rayon lumineux. Mais il n'en est pas ainsi, et c'est là un premier résultat en contradiction avec l'hypothèse de l'émission: l'expérience montre que dans les conditions qui se rapprochent de celles qui devraient donner un rayon, le faisceau, loin de devenir un rayon lumineux, s'étale de plus en plus: les phénomènes de ce genre se rapportent à la diffraction dont nous parlerons ultérieurement. (Voir OPTIQUE PHYSIQUE.)

348. Des ombres. — Parmi les conséquences que l'on peut déduire de la propagation rectiligne de la lumière, il convient de signaler la production des ombres.

Soit, par exemple, un point lumineux A (fig. 120) qui envoie de la lumière dans toutes les directions: plaçons à quelque distance un écran opaque MM'. Joignons AM que nous prolongerons en MX: il est clair que dans toute la partie de l'espace située au-dessous de MX, la lumière se propagera sans obstacle, comme si l'écran n'existait pas; mais dans la partie de l'espace située derrière l'écran, au-dessus de MX la lumière ne peut absolument pas pénétrer: on dit que cette partie est dans l'ombre, et la ligne MX est dite la *ligne de séparation d'ombre et de lumière*, ligne déterminée géométriquement.

Il est facile de réaliser cette expérience et l'observation montre que les résultats sont bien, dans leur ensemble, d'accord avec les conclusions auxquelles nous sommes arrivé.

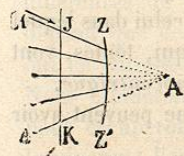


Fig. 119.

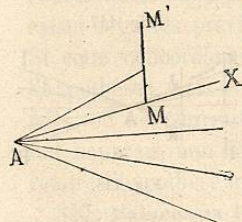


Fig. 120.

Il importe toutefois de remarquer que, lorsqu'on répète l'expérience en se plaçant dans les conditions les plus voisines de celles supposées par la théorie et qu'on examine avec des procédés précis les effets qui se manifestent dans la région où devrait se trouver la ligne de séparation d'ombre et de lumière, on reconnaît que ces effets diffèrent complètement de ceux auxquels conduit nécessairement l'hypothèse de l'émission. Nous donnerons plus tard quelques indications sur les phénomènes qu'on observe et qui constituent ce qu'on appelle la diffraction.

349. — La propagation rectiligne de la lumière explique la formation des ombres des corps éclairés par des sources de lumière. Soit, par exemple, une sphère *n* (fig. 121) éclairée par le point lumineux A;

menons par ce point un cône tangent à la sphère, qu'il touche suivant le petit cercle *mp*. On voit évidemment que toute la partie du cône qui est derrière *mp* ne peut recevoir de lumière du point A: c'est le *cône d'ombre*. La portion de la surface située dans ce cône est dans l'*ombre*, elle constitue l'*ombre propre* de la sphère. Enfin, si à quelque distance on place un écran, la surface de celui-ci reçoit de la lumière du point A dans toute son étendue, sauf dans la partie MNP; cette partie constitue l'*ombre portée* de la sphère sur le plan.

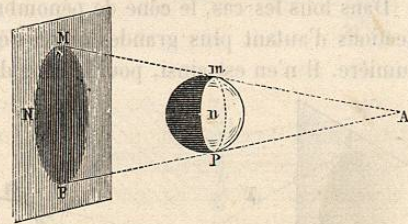


Fig. 121.

Si la source de lumière est une sphère lumineuse MN (fig. 122), le

corps opaque étant la sphère M'N', nous pouvons tracer deux cônes tangents communs aux deux sphères, le cône extérieur MM'NN', le cône intérieur RR'TT', ces cônes coupent un écran placé à quelque distance suivant deux courbes *mn*, *rt*. On voit, sans qu'il

soit nécessaire d'insister, que tous les points de l'espace qui, après M'N', sont en dehors du cône R'T', sont éclairés par la source MN comme si le corps opaque n'existait pas; — que, au contraire, tous les points qui, après M'N', sont à l'intérieur du cône M'N'mn, ne peuvent recevoir aucune lumière de la source, ils sont dans l'ombre, et en particulier la partie de l'écran *mn* comprise dans ce cône est l'ombre portée du corps. Enfin les points situés entre ces deux cônes ne reçoivent qu'une partie de la lumière que leur enverrait la source lumineuse si le corps opaque M'N' n'existait

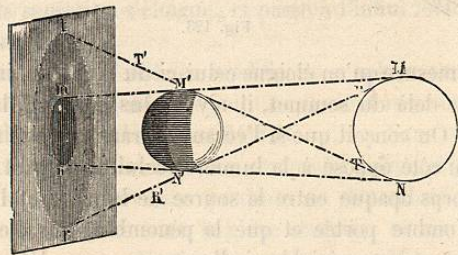


Fig. 122.

pas : cette partie constitue la *pénombre*; la discussion de la question montre que cette pénombre reçoit de moins en moins de lumière à mesure qu'on s'éloigne de la surface du cône $R'r T't$ pour se rapprocher de la surface du cône $M'm M'n$; l'effet est très visible sur l'écran.

Si l'écran est translucide, un observateur placé derrière distinguera l'ombre et la pénombre de la partie éclairée et l'existence de l'ombre lui fera connaître la présence d'un corps opaque derrière l'écran.

La forme des cônes d'ombre et de pénombre change, comme cela est facile à comprendre, avec celles du corps lumineux et du corps opaque; mais, même dans le cas où l'un et l'autre sont des sphères, le cône d'ombre a des dispositions différentes suivant les dimensions relatives de ces corps.

Dans tous les cas, le cône de pénombre est divergent et présente des sections d'autant plus grandes qu'on s'écarte davantage de la source de lumière. Il n'en est ainsi, pour le cône d'ombre, que si le corps opaque a

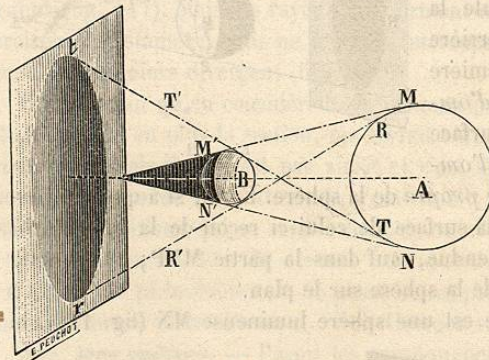


Fig. 123.

des dimensions supérieures à celles du corps lumineux : si les dimensions sont les mêmes, le cône d'ombre est transformé en un cylindre. Enfin, si le corps lumineux a des dimensions supérieures à celles du corps opaque (fig. 123), le cône d'ombre est convergent, l'ombre sur un

écran va en diminuant à mesure qu'on éloigne celui-ci du corps lumineux; et si l'écran est placé au delà du sommet, il n'y a plus d'ombre, la pénombre seule subsiste. On conçoit que si l'écran est translucide et regardé par un observateur du côté opposé à la lumière, celui-ci ne peut soupçonner l'existence du corps opaque entre la source de lumière et l'écran, puisqu'il n'y a pas d'ombre portée et que la pénombre, très étendue, est peu distincte et même inappréciable si elle recouvre complètement l'écran.

350. Vision d'un point lumineux. — Lorsqu'un faisceau lumineux pénètre dans un œil sain, il fait naître une sensation qui se manifeste toujours avec ses qualités d'intensité et de coloration; mais pour que la sensation soit complète, pour qu'elle soit nette, il faut de plus que le faisceau ait une forme déterminée. C'est ainsi que, dans les conditions ordinaires, celles qui se rapportent à l'œil que l'on considère comme normal, la sensation de netteté de la vision n'existe que si les faisceaux sont parallèles ou présentent un certain degré de divergence¹.

1. Nous verrons plus loin que pour certains yeux (*myopes*) la vision nette

Lorsqu'un faisceau divergent émanant d'un point A (fig. 124, I) situé à une distance qui n'est pas trop petite arrive sur un œil normal, nous voyons le point, c'est-à-dire que nous sommes avertis, par la sensation lumineuse que nous éprouvons, de l'existence du point lumineux. Il y a plus, nous avons la notion de la distance à laquelle il se trouve. La netteté de ces indications que nous déduisons de la sensation que nous éprouvons ne paraît pas être le résultat d'une connaissance qui soit innée en nous; elle semble la conséquence de l'éducation de nos sens, de la comparaison des sensations fournies par l'organe de la vision avec celles du toucher : c'est au moins ce qui paraît prouvé par les observations faites chez les jeunes animaux et les jeunes enfants et sur les aveuglés auxquels il a été possible de rendre l'usage de la vue. Il importe peu d'ailleurs au point de vue physique : le fait intéressant, c'est que dans les conditions normales, lorsque notre œil reçoit un faisceau divergent émané d'un point lumineux, nous en reportons la cause en ce point, nous sommes avertis de l'existence de ce point.

Comme cas particulier, lorsque le point s'éloigne à une distance assez grande pour que le faisceau tende à devenir parallèle, nous nous rendons compte que la cause de la sensation s'éloigne, et passe à l'infini lorsque le faisceau est devenu parallèle.

Nous examinerons plus tard en détail les modifications subies par le faisceau lorsqu'il pénètre dans l'œil jusqu'au point où il vient rencontrer la membrane sensible qui tapisse celui-ci au fond, la rétine. Sans qu'il soit nécessaire de les connaître actuellement, on comprend aisément que ces modifications et, par suite, l'impression produite ne dépendent que de la forme du faisceau à sa rencontre avec le globe oculaire, et non de celle qu'il a pu avoir antérieurement. Un faisceau qui est parallèle entre la face de sortie d'un appareil quelconque et l'œil, produit pour la vision le même effet que s'il venait sans modification d'un point très éloigné et

ne peut être produite que par des faisceaux divergents et non par des faisceaux parallèles, tandis que pour d'autres (*yeux hypermétropes*) la vision nette est possible même avec des faisceaux présentant un certain degré de convergence; mais jusqu'à l'étude détaillée de la vision, nous admettons que l'on considère seulement les yeux *emmétropes*, regardés comme correspondant à l'état normal et pour lesquels, comme nous l'avons dit, la vision nette ne peut être produite que par des faisceaux arrivant à l'œil parallèles ou présentant un degré convenable de divergence.

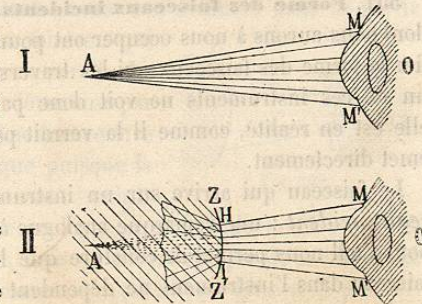


Fig. 124.