

$$\frac{F'P'}{A'D} = \frac{H'P'}{A'D'}$$

ou en remarquant que $H'P'$ est égal à l'objet AB et que $A'D$ est égal à la différence des deux images :

$$\frac{F'P'}{B'B'_1} = \frac{AB}{A_1B'_1 - A'B'}$$

L'expérience permet de déterminer $A'B'$ et $A_1B'_1$, grandeur des deux images réelles que l'on peut recueillir sur un écran et $B'B'_1$ déplacement de l'écran pour passer de l'une de ces images à l'autre. Si donc on connaît AB , on pourra calculer immédiatement $F'P'$, c'est-à-dire la distance focale.

Si celle-ci n'est pas très petite, il sera commode de choisir les images telles que la différence de leur grandeur soit justement égale à l'objet, c'est-à-dire $A_1B'_1 - A'B' = AB$, car alors on a $B'B'_1 = F'P'$, le déplacement de l'écran est égal à la distance focale cherchée.

Si la distance focale est petite, il y aura intérêt à choisir deux images telles que l'on ait par exemple $A_1B'_1 - A'B' = 10 AB$, il viendra alors $B'B'_1 = 10 F'P'$: la distance focale sera égale à $\frac{1}{10}$ du déplacement de l'écran.

Dans le cas où le système considéré ne donnerait que des images virtuelles des objets réels, on peut employer une méthode analogue, mais elle exige l'emploi de la chambre claire : nous y reviendrons en parlant de cet appareil.

ART. IV. — DOUBLE RÉFRACTION

438. **Action sur la lumière des corps biréfringents.** — Nous avons étudié dans l'article qui précède la réfraction qui se manifeste dans les corps amorphes et nous avons indiqué que les phénomènes obéissent à d'autres lois dans le cas des corps cristallisés autres que dans les cristaux appartenant au système cubique. En effet lorsqu'un rayon pénètre de l'air dans un milieu non isotrope, il donne naissance à deux rayons réfractés et c'est en cela que consiste la double réfraction. Quelques appareils employés notamment dans l'étude de l'œil et dans les analyses de liquides de l'organisme reposant sur ces phénomènes, il est indispensable de s'en rendre compte en les étudiant au moins sommairement dans ce qu'ils ont d'essentiel.

Pour bien indiquer les caractères de ce phénomène spécial, examinons l'action produite par la réfraction simple dans un cas particulier. Supposons qu'une masse de verre, amorphe, ait été taillée en forme de sphère dont O (fig. 227) soit le centre : considérons un rayon lumineux MA arri-

vant en A : la normale en ce point sera le rayon OAL ; le rayon réfracté sera dans le plan d'incidence qui contient le rayon MA et la normale AL , et sa position sera déterminée par la loi de Descartes ou loi des sinus (383). En particulier, si le rayon arrive suivant la normale LA , il pénètre dans la sphère en AB sans déviation. Quelle que soit, d'ailleurs, la direction du rayon incident que nous maintiendrons constante, si nous faisons tourner la sphère autour de son centre de manière que le point d'incidence change à sa surface, le rayon réfracté conserve la même direction, le phénomène est complètement indépendant de la partie de la surface par laquelle pénètre la lumière. On conçoit d'ailleurs qu'il en soit ainsi puisque, la substance réfringente étant isotrope, la lumière trouve les mêmes conditions dans tous les cas.

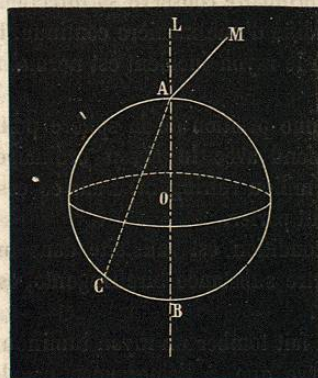


Fig. 227.

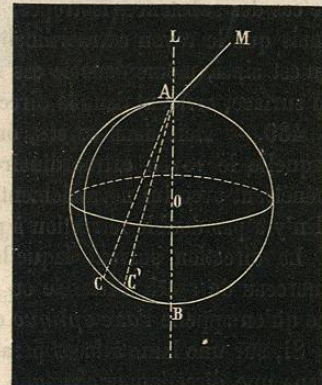


Fig. 228.

Mais il n'en doit pas être de même pour les substances cristallisées et on ne peut prévoir les effets qui se produiront. Nous supposons dans tout ce qui suit que la substance réfringente employée est le spath d'Irlande, carbonate de chaux transparent qui cristallise en forme de rhomboèdre, ce cristal servant presque exclusivement dans les applications pratiques. Si, de même, nous taillons une sphère dans un bloc de spath d'Islande et que, en un point A (fig. 228) de sa surface, nous faisons arriver un rayon lumineux MA dans une direction quelconque, nous observons qu'il donne naissance dans la sphère à deux rayons distincts¹. L'un de ces rayons AC obéit aux lois de réfraction que nous avons indiquées (383) : il est dans le plan d'incidence, plan qui contient déjà le rayon incident MA et la normale AL et, de plus, si on fait varier l'angle d'incidence MAL , l'angle de réfraction CAB est déterminé par la loi des sinus. Quant à l'autre rayon AC' , en général il est dans un plan $AC'B$ différent du plan d'inci-

1. On ne peut, bien entendu, opérer réellement sur des rayons, mais seulement sur des pinceaux lumineux qu'on prend de petite amplitude.

dence; de plus, si on fait varier l'angle d'incidence MAL , le plan qu'il détermine avec la normale AB change et l'angle $C'AB$ qu'il fait avec la normale n'est pas lié par une loi simple avec l'angle d'incidence.

En particulier, si le rayon incident arrive suivant la normale LA , l'un des rayons passe en AB sans déviation; en général, le second rayon prend une direction différente.

Le premier rayon se comporte donc comme s'il traversait une substance isotrope; pour cette raison on l'appelle *rayon ordinaire*; le second rayon est appelé *rayon extraordinaire*.

D'autre part, si, maintenant fixe le rayon incident, on fait tourner la sphère autour de son centre C de manière à ce que l'incidence se fasse successivement en des points différents, on reconnaît que, comme dans le cas des substances isotropes, le rayon ordinaire conserve sa direction, mais que le rayon extraordinaire est modifié d'une manière continue. Il en est ainsi, même dans le cas simple où le rayon incident est normal à la surface, arrivant dans la direction LA .

439. — Mais dans ce cas, on trouve une position de la sphère pour laquelle le rayon extraordinaire se confond avec le rayon ordinaire, pénétrant avec lui normalement dans le milieu réfringent. Dans ce cas, il n'y a pas double réfraction à proprement parler.

La direction suivant laquelle cette condition est satisfaite dans un morceau de spath d'Islande ou d'une autre substance biréfringente, est ce qu'on appelle l'*axe optique* du cristal.

Si, sur une lame à faces parallèles, on fait tomber un rayon lumineux dans une direction quelconque, on observe que, à l'émergence par la seconde face, chacun des rayons réfractés donne un rayon émergent. De plus, ces deux rayons sortent l'un et l'autre parallèles à la direction du rayon incident. On en conclut (404) que chacun d'eux obéit à la loi de réversibilité.

Lorsqu'on étudie un cristal de spath d'Islande dans sa forme naturelle,

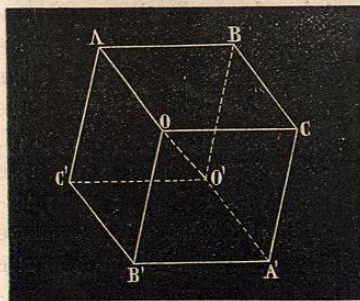


Fig. 229.

rhomboédre (fig. 229), on reconnaît que la direction de l'axe optique coïncide avec l'une des diagonales OO' de ce solide. Mais cette substance est employée sous forme de lames à faces parallèles ou de prismes dont les faces ont des directions quelconques par rapport à cet axe. Souvent, par exemple, les faces parallèles d'une lame sont perpendiculaires à l'axe optique ou les arêtes d'un prisme sont parallèles à cette droite (lame taillée perpendiculairement à l'axe, prisme taillé parallèlement à l'axe).

taillée perpendiculairement à l'axe, prisme taillé parallèlement à l'axe).

440. **Action d'une lame biréfringente à faces parallèles.** — Considérons le cas d'une lame à faces parallèles $A_1A_2B_1B_2$ (fig. 230) ayant une direction quelconque par rapport à l'axe optique, sur laquelle on fait arriver normalement un faisceau parallèle RT . En pénétrant dans la lame biréfringente à travers la face A_1B_1 , ce faisceau se divise : le faisceau ordinaire continue sans déviation et, rencontrant aussi normalement la face A_2B_2 , sort sans déviation, allant donner sur un écran MM' une tache lumineuse S_0U_0 , comme si la lame n'avait pas été interposée (à l'intensité près, comme nous le dirons plus loin). Le faisceau extraordinaire est dévié dans la lame, mais à l'émergence reprend la direction primitive et sort, par conséquent, parallèle au faisceau ordinaire, il est déplacé et non dévié : il donne alors sur l'écran MM' une tache lumineuse S_0U_e .

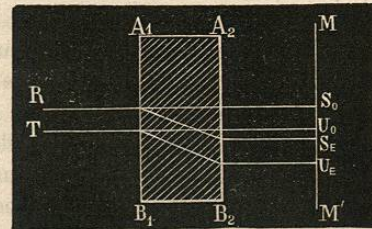


Fig. 230.

Si l'on vient à faire tourner la lame autour de la direction du faisceau incident, autour d'une normale à ses faces par conséquent, le faisceau ordinaire ne subit aucune modification et donnera toujours au même endroit la tache lumineuse S_0U_0 . Il n'en est pas de même du faisceau extraordinaire dont la position est liée à celle de l'axe optique du cristal et qui sera entraîné, comme celui-ci, dans le mouvement de rotation de la lame. La tache produite par ce faisceau tourne donc autour de la tache fixe que donne le faisceau ordinaire.

On voit immédiatement sur la figure que le déplacement du faisceau extraordinaire par rapport au faisceau incident, et par conséquent par

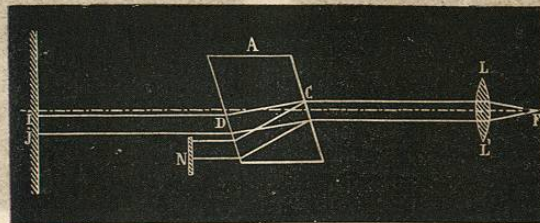


Fig. 231.

rapport au faisceau ordinaire émergent, est proportionnel à l'épaisseur de la lame. Si cette épaisseur n'est pas assez grande par rapport à la largeur du faisceau incident, les deux faisceaux émergents sont confondus en partie et les deux taches lumineuses sont en partie superposées : la partie commune est alors plus éclairée que le reste des taches. Mais si la lame

est assez épaisse ou le faisceau incident assez mince, les deux faisceaux émergents sont complètement séparés et les deux taches lumineuses sur l'écran sont entièrement distinctes.

Dans les expériences sur la polarisation (voir OPTIQUE PHYSIQUE) il est souvent nécessaire d'avoir seulement un des deux faisceaux : on comprend que dans ce dernier cas, il soit possible (fig. 234), à l'aide d'un écran opaque N, d'arrêter l'un de ces faisceaux et de conserver celui sur lequel on veut expérimenter. Mais cette disposition présente l'inconvénient d'exiger une lame assez épaisse dès que le faisceau est un peu large : nous verrons plus loin le moyen d'obtenir le même résultat par d'autres procédés.

Ajoutons que des effets du même genre se produiraient si la lumière incidente était convergente comme il arrive dans le cas où on veut faire des projections, ou divergente comme dans le cas où la lame serait placée après un appareil donnant une image virtuelle.

441. Action des prismes biréfringents. — Chacun des faisceaux qui a été ainsi séparé par la double réfraction se comporte au point de vue de sa marche, dans toutes les circonstances, comme la lumière incidente qui lui a donné naissance (toujours à l'intensité près). Chacun de ces faisceaux peut se diffuser, se réfléchir, se réfracter, et même subir la double réfraction, et par conséquent on peut appliquer à chacun d'eux tout ce que nous avons indiqué dans les articles précédents et dans celui-ci : nous insisterons seulement sur quelques particularités intéressantes.

Si l'on fait tomber sur un prisme biréfringent B_1AB_2 (fig. 232) un faisceau de lumière il se divisera en pénétrant dans le prisme ; à la face d'émergence les deux faisceaux pourront tous les deux sortir et seront alors déviés inégalement, les angles de déviation étant Δ_o et Δ_e , de telle sorte qu'ils feront entre eux un certain angle.

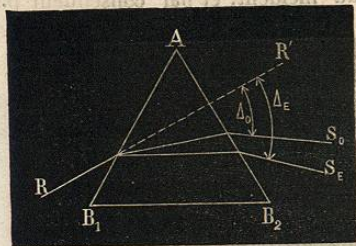


Fig. 232.

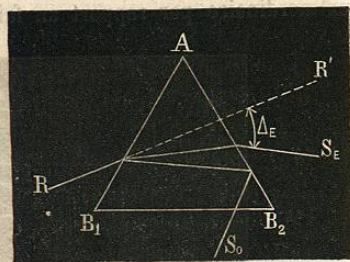


Fig. 233.

Il peut arriver aussi que, pour ces deux faisceaux, les angles d'incidence sur la 2^e face AC soient supérieurs aux angles limites correspondants : ils subiront alors l'un et l'autre la réflexion totale et ne sortiront pas par la face AC.

Enfin, il peut arriver que les angles d'incidence sur la 2^e face AC (fig. 233) soient tels que l'un d'eux seulement soit supérieur à l'angle

limite. Celui pour lequel cette condition est réalisée subira la réflexion totale et ne sortira pas par la face AC ; mais l'autre émergera en présentant une certaine déviation.

Grâce à cette disposition, on peut également séparer les deux faisceaux : dans le spath d'Islande c'est le faisceau ordinaire S_o qui subit la réflexion totale et le faisceau extraordinaire S_e qui sort. Mais ce moyen d'obtenir un seul des deux faisceaux est peu commode dans les expériences, parce que la direction du faisceau émergent n'est pas la même que celle du faisceau incident.

442. — Une disposition indiquée par Nicol et dans laquelle le même principe est appliqué permet d'éviter cet inconvénient. Un cristal de spath ABCD (fig. 234) est scié suivant un plan diagonal AC et les deux morceaux sont rapprochés et collés avec du baume du Canada. Le rayon incident RI se divise à l'entrée et donne deux rayons réfractés qui rencontrent la face diagonale AC sous des angles différents : l'inclinaison de la section a été déterminée, eu égard aux indices de réfraction

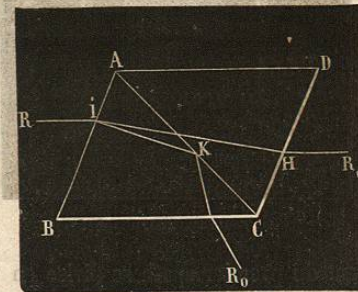


Fig. 234.

dans le spath et dans le baume, de telle sorte que le rayon ordinaire R_o est réfléchi totalement et se perd dans la monture de l'appareil ; le rayon extraordinaire traverse la couche de baume sans modification appréciable de direction, car cette couche constitue une lame mince à faces parallèles, et rencontre en H la face CD d'où il émerge en HR_o parallèlement à la direction d'incidence RI.

Foucault a modifié cet appareil en supprimant le baume et laissant une mince couche d'air entre les deux prismes ACB, ACD. L'effet est le même, mais l'obliquité de la section AD peut être moindre et le morceau de spath employé est par suite de dimensions plus petites.

Ces appareils qui sont fréquemment utilisés dans l'étude de la polarisation sont connus sous les noms de prisme de Nicol et prisme de Foucault et, plus généralement, de Nicol et de Foucault.

443. — Enfin, pour arriver au même résultat, on peut encore accoler à un prisme de spath B (fig. 235) convenablement taillé un prisme de flint A de même angle. Le faisceau incident R, limité par une ouverture C pratiquée dans la monture, arrive normalement sur la première face du prisme A et pénètre sans déviation. A la surface de séparation des prismes A et B le faisceau se divise : le rayon extraordinaire passe sans déviation dans le prisme B qui a le même indice que le flint pour la lumière extraordinaire, et, rencontrant normalement la face d'émer-

gence, sort sans déviation en R_o . Le rayon ordinaire est dévié, au contraire, et, sortant parallèlement à la direction d'incidence, est assez dévié en R_e pour être arrêté par la monture qui de ce côté présente seulement une ouverture D pour le passage de R_e . Le résultat est donc le même que dans les cas précédents et n'exige qu'un morceau de spath de petites dimensions.

444. — Lorsqu'un faisceau traverse un spath d'Islande, il est divisé à la sortie; si on fait tomber ces faisceaux émergents sur un autre spath, chacun de ces faisceaux subit, en général au moins, et sauf les cas particuliers que nous avons indiqués, la double réfraction. Le faisceau ordinaire R_o se divise en deux dans le second spath, dont l'un R_{oo} traverse sans déviation tandis que l'autre, rayon extraordinaire R_{oe} , sort avec un certain déplacement. Le rayon extraordinaire R_e émergent du premier spath se divise en deux autres dont l'un, ordinaire R_{eo} , ne subit pas un nouveau déplacement, tandis que l'autre, extraordinaire R_{ee} , est déplacé à nouveau.

Il y a donc à l'émergence du second spath quatre faisceaux dont un seul R_{oo} a conservé la position primitive. Si donc on fait tourner le système des deux spaths autour de la direction du rayon incident, parmi les quatre images qu'on obtient sur un écran, une seule restera immobile, et les trois autres tourneront autour de celle-ci.

Dans cette expérience, les images présentent le plus souvent des différences notables d'intensité; nous reviendrons plus tard sur ce point (voir POLARISATION).

445. **Vision à travers une lame biréfringente.** — Examinons l'effet produit lorsqu'un observateur O regarde un point lumineux L à travers une lame biréfringente $MNPQ$ (fig. 236) à faces parallèles. Soit LA

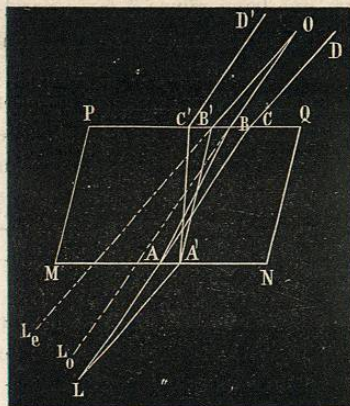


Fig. 236.

un rayon émané de ce point, il pénétrera dans le cristal en se divisant en deux AB et AC qui, à l'émergence, donneront deux rayons parallèles, tous les deux à la direction LA du rayon incident. De même un autre rayon

LA' se divisera en deux $A'B'$ et $A'C'$ qui, à l'émergence, donneront également deux rayons parallèles à LA' . Soit l'œil d'un observateur placé en O : il recevra de la lumière arrivant dans la direction OB comme si elle venait d'un point situé en L_o ; mais en même temps il recevra de la lumière arrivant en $B'O$ qui donnera la sensation d'un point situé en L_e ; les autres rayons seront perdus, ne pénétrant pas dans l'œil. On voit donc que l'observateur verra deux images du point L : celui-ci paraîtra dédoublé. Il en serait naturellement de même d'un objet dont tous les points donneraient ainsi deux images.

L'effet ne peut évidemment se produire que si les rayons utiles se croisent dans l'intérieur du cristal: on reconnaît qu'il en est bien ainsi, en glissant sous la face MN un écran opaque de M vers N , par exemple. C'est le rayon de gauche arrivant en A qui est intercepté le premier. C'est donc le rayon en ABO qui n'arrive plus à l'œil et par suite c'est l'image de droite qui cesse d'être vue d'abord.

446. **Mesure des longueurs par les prismes biréfringents.** — Soit AB (fig. 237) un objet qui, placé devant une lentille L , donne une image

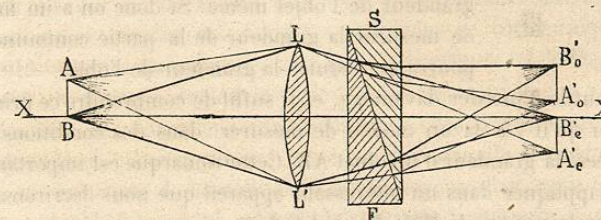


Fig. 237.

réelle en $A'B'$, le faisceau incident BLL' donnant naissance au faisceau émergent $LL'B'$, et le faisceau incident ALL' se transformant par son passage dans la lentille dans le faisceau $LL'A'$. Sur le trajet de ces faisceaux et avant la formation de l'image réelle, intercalons un parallélépipède flint-spath analogue à celui (443) que nous avons étudié précédemment; ainsi que nous l'avons dit, les faisceaux se diviseront en pénétrant dans le spath: les faisceaux extraordinaires ne seront pas modifiés et leurs sommets seront toujours en $A'B'$, où se fera par suite une image. Mais les faisceaux ordinaires seront déviés dans le spath et à l'émergence auront leurs sommets en A'_e et B'_e , de telle sorte qu'il se produira une seconde image réelle $A'_eB'_e$.

Dans le cas de la figure les images sont séparées par la distance $A'B'_e$; mais on voit aisément que si l'objet AB était plus grand, le point A plus éloigné de l'axe, ce qui ne changerait rien aux points B' et B'_e , les images seraient aussi plus grandes, le point A'_e serait rapproché de B'_e . On peut même trouver une certaine grandeur de AB pour laquelle le point A'_e viendra coïncider avec B'_e , les deux images de l'objet seront

placées exactement à la suite l'une de l'autre. Il est évident que, pour une même position de l'objet AB, de la lentille LL' et du prisme PP', il faut pour que cette condition se réalise que l'objet AB ait une grandeur déterminée (que les lois de la réfraction permettent même de calculer); et réciproquement, pour des positions invariables de AB, de LL' de PP' toutes les fois que cette condition se réalisera on sera assuré que l'objet AB aura toujours cette même grandeur.

Supposons que l'objet observé soit une bande lumineuse; à l'aide de l'appareil dans les conditions que nous venons d'indiquer, on verra l'image dédoublée dans la disposition I de la figure 238. Si l'objet grandit (II), les points A' et B' coïncideront, les images seront amenées au contact; si l'objet grandit encore, l'image ordinaire empiètera sur l'image extraordinaire et on aura l'apparence B'A', B'A' (fig. 238, III). Il est clair que la grandeur de la partie commune comprise entre B' et A' dépendra de la grandeur de l'objet même. Si donc on a un moyen de mesurer la grandeur de la partie commune, on pourra en déduire la grandeur de l'objet.

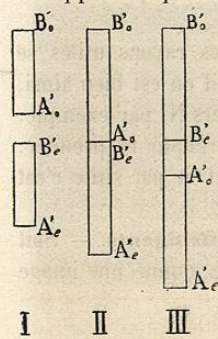


Fig. 238.

Il est inutile d'insister davantage, et il suffit de comprendre ce principe pour saisir qu'il y a là un moyen de mesurer, dans des conditions bien déterminées, la grandeur d'un objet AB. Cette remarque est importante et elle a été appliquée dans un intéressant appareil que nous décrirons plus loin, l'ophthalmomètre de MM. Javal et Schiötz.

Les prismes de Rochon et de Wollaston donnent des résultats analogues à ceux que nous venons d'indiquer, seulement le prisme de flint est remplacé par un prisme de spath. Grâce à une orientation convenable, il n'y a que deux images et non pas quatre.

CHAPITRE II

RADIATIONS

447. **Hypothèse des ondulations.** — Nous avons dit que si l'hypothèse de l'émission permettait de donner des explications simples relativement à l'optique géométrique, elle ne pouvait cependant être considérée comme représentant la réalité : nous avons déjà indiqué (348) comment l'observation précise de l'effet produit par le bord d'un écran sur la lumière émanée d'un point lumineux donne des résultats en contra-

diction formelle avec cette hypothèse. Nous aurons à signaler ultérieurement d'autres faits du même genre (voir OPTIQUE PHYSIQUE) : l'hypothèse de l'émission doit donc être abandonnée.

Une autre hypothèse, celle des *ondulations*, a résisté jusqu'à présent au contrôle de l'expérience, donnant l'explication des phénomènes observés, permettant même d'en prévoir. Indiquons sommairement en quoi elle consiste.

On admet que, indépendamment de la matière qui manifeste son existence par les propriétés que nous avons signalées, par les phénomènes divers dont elle est le siège, l'espace contient une autre substance à laquelle on a donné le nom d'*ether* ou quelquefois *ether lumineux*. Cette substance, qui serait parfaitement élastique, existerait non seulement dans les espaces vides de matière, comme les espaces interplanétaires ou interstellaires, mais pénétrerait également les corps, les molécules dont elle est composée s'intercalant pour ainsi dire entre les molécules matérielles.

On admet que lorsque l'éther, en un de ses points, est dérangé de sa position d'équilibre, il exécute une série de vibrations qui s'éteignent plus ou moins rapidement; mais ces vibrations se communiquent aux molécules voisines qui vibrent à leur tour et transmettent le mouvement vibratoire à d'autres molécules. Ce serait ce mouvement vibratoire, modifié dans ses conditions par la présence des corps matériels, qui, arrivant à l'œil, pénètre jusqu'à la rétine sur laquelle il produirait une action sur la nature de laquelle on n'est pas encore fixé, mais qui aurait pour résultat de faire naître en nous la sensation lumineuse.

Ces vibrations de l'éther se propageant ainsi dans l'espace vide et dans les corps sont désignées sous le nom de *radiations*. Nous verrons ultérieurement les raisons qu'on peut invoquer en faveur de cette hypothèse et nous nous occuperons maintenant des effets observés qu'on peut leur attribuer.

448. — Nous avons cherché, au point de vue lumineux, les conditions dans lesquelles se modifient les faisceaux; nous n'avons pas étudié les conditions qui peuvent expliquer les divers caractères de la sensation lumineuse : l'intensité, la coloration, la forme. L'étude de cette dernière est liée intimement au fonctionnement de l'œil comme appareil d'optique, comme système centré; nous y consacrerons un chapitre spécial, mais nous pouvons dès à présent étudier les particularités relatives à la coloration et à l'intensité.

D'autre part, il est des effets divers dont nous sommes conduits à considérer la cause comme étant la même que celle qui fait naître en nous la sensation lumineuse; nous considérerons donc les radiations comme la cause de ces effets.

Comment pouvons-nous être conduits à cette hypothèse?