

Soit proposé, par exemple, de calculer le numéro des verres que doit adopter un presbyte pour lequel la distance de la vue distincte est 35 pouces, sachant que la distance de la vue distincte ordinaire est de 11 pouces. En faisant  $p = 11$  et  $d = 35$ , dans la formule [1] ci-dessus, on trouve  $f = \frac{35 \times 11}{35 - 11} = 16$ .

Quant à la mesure de la distance de la vue distincte, on l'obtient avec une assez grande précision au moyen d'un petit appareil qu'on nomme *optomètre*.

546. **Diplopie.**— La *diplopie* est une affection de l'œil qui fait qu'on voit les objets doubles, c'est-à-dire qu'on en voit deux au lieu d'un. En général, les deux images se superposent presque entièrement, et l'une d'elles est beaucoup plus apparente que l'autre. La diplopie peut résulter du concours de deux yeux inégaux; mais elle peut aussi affecter un seul œil. Ce dernier cas est sans doute dû à quelque défaut de conformation dans le cristallin ou dans d'autres parties de l'œil, qui fait que le faisceau lumineux se bifurque et va former sur la rétine deux images au lieu d'une. Un seul œil peut même être affecté de *triplopie*; mais, dans ce cas, la troisième image est excessivement faible.

547. **Achromatopsie.**— On nomme *achromatopsie* une affection singulière qui nous rend incapables de juger des couleurs, ou du moins de certaines couleurs. Chez quelques personnes, en effet, l'insensibilité est complète, tandis que d'autres apprécient quelques couleurs. Les personnes atteintes de cette affection distinguent très-bien les contours des corps, les parties claires ou dans l'ombre, mais elles n'en distinguent pas les teintes.

D'Hombres-Firmas cite une personne affectée d'achromatopsie, qui avait peint dans son appartement, sur un dessus de porte, un paysage dont le terrain, les arbres, les maisons, les personnages étaient bleus. Un visiteur lui ayant demandé pourquoi elle n'avait pas donné à chaque objet sa couleur propre, elle répondit qu'elle avait voulu assortir la couleur de son dessin à celle de son ameublement; or, celui-ci était rouge.

On désigne aussi l'achromatopsie sous le nom de *daltonisme*, parce que Dalton, qui l'a décrite avec soin, en était affecté.

## \* CHAPITRE VII.

### SOURCES DE LUMIÈRE, PHOSPHORESCENCE.

548. **Diverses sources de lumière.**— Les diverses sources de lumière sont le soleil, les étoiles, la chaleur, les combinaisons chimiques, la phosphorescence, l'électricité et les phénomènes météoriques. Nous ne traiterons de ces deux dernières sources de lumière qu'aux articles *Electricité* et *Météorologie*.

L'origine de la lumière émise par le soleil et par les étoiles est inconnue; on admet seulement que la substance enflammée dont paraît entouré le soleil est gazeuse, parce que la lumière de cet astre, de même que celle qui est émise par les substances gazeuses enflammées, ne laisse apercevoir aucune trace de polarisation dans les lunettes polariscope (368).

Quant à la lumière développée par la chaleur, d'après M. Pouillet, les corps commencent à devenir lumineux, dans l'obscurité, à une température de 500 à 600 degrés, et au delà la lumière qu'ils émettent est d'autant plus vive, que leur température est plus élevée.

C'est par les hautes températures qui les accompagnent qu'un grand nombre de combinaisons chimiques donnent naissance à un dégagement de lumière. Telle est la cause des lumières artificielles utilisées pour l'éclairage; car, ainsi qu'on

l'a déjà vu, les flammes ne sont autre chose que des matières gazeuses chauffées au point d'être lumineuses (417).

Les corps devenant lumineux à une température élevée, le calorique semble alors se transformer en lumière, ce qui tendrait à prouver que ces deux agents doivent être rapportés à une seule et même cause, surtout si l'on observe qu'en général les rayons lumineux sont accompagnés de rayons calorifiques. Toutefois l'identité n'est pas complète, car on connaît plusieurs substances qui peuvent luire dans l'obscurité sans dégager de chaleur, ou, si elles en dégagent, ce n'est qu'en quantité inappréciable aux instruments thermométriques les plus sensibles. Cette propriété va être décrite sous le nom de *phosphorescence*.

549. **Phosphorescence, ses sources.**— La *phosphorescence* est la propriété que possèdent un grand nombre de substances d'émettre de la lumière lorsqu'on les place dans certaines conditions.

M. Ed. Becquerel, qui a fait une étude approfondie de la phosphorescence, et est arrivé à des résultats extrêmement remarquables, rapporte ce phénomène à cinq causes :

1° La *phosphorescence spontanée*, dans certains végétaux et dans certains animaux; par exemple, elle est très-intense chez le fulgore (porte-lanterne) et chez le lampyre (ver luisant), et l'éclat de leur lumière varie sous l'empire de leur volonté. De même, dans les régions tropicales, la mer est souvent couverte d'une lumière phosphorescente assez vive qui est due à des zoophytes d'une extrême petitesse. Ces animalcules répandent une matière lumineuse si subtile, que MM. Quoy et Gaimard, pendant un voyage sous l'équateur, en ayant placé deux dans un bocal rempli d'eau, le liquide devint immédiatement lumineux dans toute sa masse.

2° La *phosphorescence par élévation de température*, qui se manifeste surtout dans certains diamants et dans les variétés de spath fluor, qui, chauffé à 300 ou 400 degrés, devient tout à coup lumineux et répand une lueur bléâtre assez vive.

3° La *phosphorescence par effets mécaniques*, tels que le frottement, la percussion, le clivage, etc. Par exemple, lorsque, dans l'obscurité, on frotte deux cristaux de quartz l'un contre l'autre, ou qu'on casse un morceau de sucre.

4° La *phosphorescence par l'électricité*, comme celle qui résulte du frottement du mercure contre le verre dans l'intérieur du tube barométrique, et surtout des étincelles électriques provenant, soit d'une machine électrique ordinaire, soit d'une batterie, soit d'une bobine de Ruhmkorff, appareil qui sera décrit en traitant de l'induction.

5° Enfin, la *phosphorescence par insolation*, c'est-à-dire par l'action de la lumière solaire, ou de la lumière diffuse de l'atmosphère. Un grand nombre de substances, après avoir été ainsi exposées à l'action de la lumière, brillent dans l'obscurité, d'une vive lueur, dont la teinte et l'intensité dépendent de la nature et de l'état physique de ces substances. C'est ce genre de phosphorescence que nous allons surtout faire connaître en résumant les travaux de M. Ed. Becquerel.

350. **Phosphorescence par insolation.**— Ce genre de phosphorescence a d'abord été observé, en 1604, dans le *phosphore de Bologne* (sulfure de barium); mais M. Ed. Becquerel a retrouvé cette propriété dans un grand nombre d'autres substances. Celles qui la présentent au plus haut degré sont les sulfures de calcium, de barium et de strontium. Quand elles sont bien préparées, ces substances, après l'insolation, peuvent luire pendant plusieurs heures dans l'obscurité. Or, cette lueur se produisant dans le vide comme dans les gaz, on ne peut l'attribuer à une action chimique, mais plutôt à une modification temporaire qui prend naissance sous l'influence de la lumière.

Après les sulfures cités ci-dessus se placent, quant au degré de phosphorescence, un grand nombre de diamants (surtout les jaunes) et la plupart des échantillons de spath fluor; puis l'aragonite, les calcaires concrétionnés, la craie, la chaux phosphatée, arséniatee, sulfatée; le nitrate de chaux et le chlorure de calcium desséchés; le cyanure de calcium; un grand nombre de sels à base de

strontiane ou de baryte; la magnésie et son carbonate, etc., etc.; enfin, un grand nombre de substances organiques acquièrent aussi la phosphorescence par insolation: par exemple, le papier sec, la soie, le sucre de canne, le sucre de lait, le succin, les dents, etc.

M. Ed. Becquerel a reconnu que chaque substance est inégalement impressionnée par les différents rayons du spectre. Le maximum a lieu dans les rayons violets et même un peu au delà, et en général la teinte émise par les corps phosphorescents correspond à des rayons d'une moindre réfrangibilité que ceux de la lumière active.

La teinte que prennent les corps phosphorescents est très-variable et change, pour un même composé, avec le mode de préparation. Dans les composés de strontiane, ce sont les teintes vertes et bleues qui dominent; dans les sulfures de barium, ce sont les teintes orangées, jaunes et vertes.

La durée de la phosphorescence est aussi très-variable d'un corps à un autre; elle dépend de la sensibilité des matières et de la température. La durée de la phosphorescence est généralement d'autant moindre que la température est plus élevée. Avec les sulfures de calcium et de strontium, la phosphorescence se prolonge, à la température ordinaire, jusqu'à trente heures; avec d'autres substances, elle n'est que de quelques minutes, de quelques secondes, et même que d'une fraction de seconde.

531. **Phosphoscope.** — Lorsqu'on expérimente sur des corps dont la phosphorescence se prolonge quelques minutes, ou même quelques secondes, il suffit de les exposer à la lumière solaire ou à la lumière diffuse pendant quelques instants, puis de les rentrer dans l'obscurité; leur lueur est alors très-apparante, surtout si l'on a pris le soin de tenir les yeux fermés pendant quelques instants. Mais pour les corps dont la phosphorescence ne dure que pendant un intervalle de temps très-court, ce procédé est insuffisant. Dans ce cas, M. Ed. Becquerel a imaginé un ingénieux appareil, auquel il a donné le nom de *phosphoscope*, et qui permet d'observer le corps aussitôt après l'action de la lumière, l'intervalle qui sépare l'insolation de l'observation pouvant être rendu aussi petit qu'on le veut, et mesuré avec une grande précision.

Cet appareil, construit par M. Duboscq, se compose d'une caisse cylindrique AB (fig. 418), de tôle noircie, et fermée de toutes parts, sauf les deux fonds de la caisse, dans lesquels sont pratiquées deux ouvertures opposées, ayant la forme d'un secteur circulaire. Une seule de ces ouvertures *o* est visible dans le dessin. La caisse est fixe, mais elle est traversée à son centre par un axe mobile auquel sont fixés deux écrans circulaires MM et PP, de tôle noire (fig. 419). Chacun de ces écrans est percé de quatre ouvertures de même forme que celles pratiquées sur les deux fonds de la caisse; mais tandis que ces dernières ouvertures se correspondent, celles des écrans alternent, de manière que les parties pleines de l'un correspondent toujours aux parties ouvertes de l'autre. Enfin, les deux écrans sont renfermés dans la caisse, et sur leur axe est un petit pignon extérieur à celle-ci, qui reçoit le mouvement d'une manivelle *m* par une série de grandes roues agissant sur des pignons, de manière à multiplier la vitesse.

Pour étudier, au moyen du phosphoscope, la phosphorescence d'une substance quelconque, on en place un fragment *a* sur un étrier interposé entre les deux écrans tournants. Cela posé, il résulte de la disposition de ces écrans, que la lumière ne peut jamais passer en même temps par les ouvertures opposées des parois A et B de la caisse, parce qu'il y a toujours entre elles un des pleins de l'écran MM ou de l'écran PP. Par suite, quand la lumière qui vient de l'autre côté de l'appareil tombe sur le corps *a*, celui-ci ne sera pas visible pour l'observateur qui regardera l'ouverture *o*, car alors il sera masqué par un des pleins de l'écran PP. Réciproquement, toutes les fois que le même observateur verra le corps *a*, celui-ci ne sera plus éclairé, la lumière étant interceptée par les pleins de l'écran MM. Il y aura donc alternativement apparition et éclipse du corps *a* :

éclipse pendant le temps qu'il est éclairé, et apparition pendant le temps qu'il cesse de l'être. Quant au temps qui s'écoule entre l'éclipse et l'apparition, il dépend de la vitesse de rotation des écrans. Supposons, par exemple, qu'ils fassent 150 tours par seconde; une révolution des écrans se faisant en  $\frac{1}{150}$  de seconde, il y aura dans le même temps quatre apparitions et quatre éclipses. Par

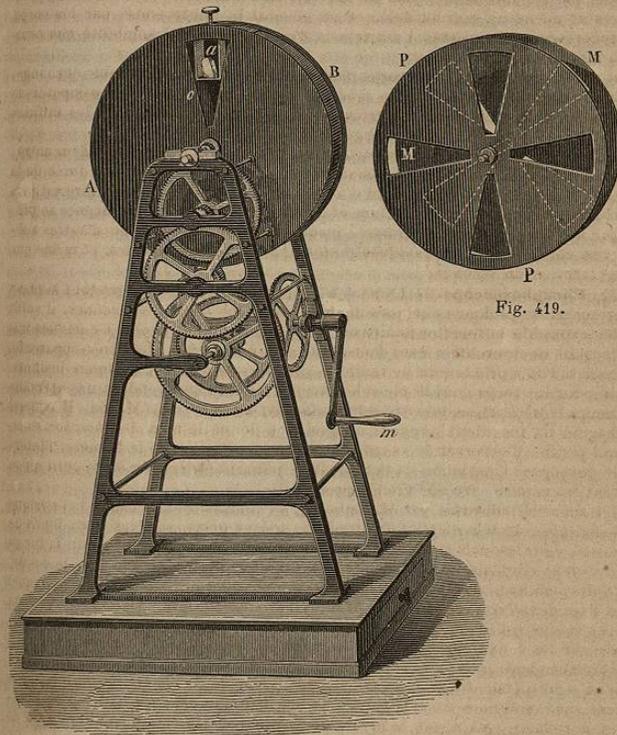


Fig. 419.

Fig. 418.

conséquent, l'intervalle qui séparera l'instant où la lumière agit de l'instant où l'on observe le corps sera  $\frac{1}{8}$  de  $\frac{1}{150}$  de seconde, ou environ 0,0008 de seconde.

Ces détails connus, pour expérimenter avec le phosphoscope, on se renferme dans une chambre noire, et étant placé derrière l'appareil, du côté des engrenages, on fait arriver de l'autre côté, sur la substance *a*, un faisceau de lumière solaire ou de lumière électrique. Imprimant alors aux écrans une rotation plus ou moins rapide, le corps *a* apparaît lumineux par transparence d'une manière continue, aussitôt que l'intervalle entre l'insolation et l'observation est moindre que la durée de la phosphorescence du corps. En expérimentant ainsi, M. Ed. Becquerel a trouvé que beaucoup de corps qui ne deviennent pas lumineux par le pro-

cédé ordinaire, le deviennent dans le phosphoscope; tel est, par exemple, le spath d'Islande. Les substances qui présentent le plus vif éclat dans cet appareil sont les composés d'uranium, qui commencent à répandre une lueur verte très-vive quand l'observateur peut les voir 0,003 ou 0,004 de seconde après l'insolation. Mais un grand nombre de substances ne présentent aucun effet dans le phosphoscope; tels sont le quartz, le soufre, le phosphore, les métaux et les liquides.

532. **Fluorescence.** — On nomme *fluorescence*, une sorte de phosphorescence instantanée, mais s'épuisant très-vite. Elle s'observe avec les solutions de sulfate de quinine, d'esculine, de chlorophylle, avec les verres d'urane, et avec certains échantillons de spath fluor. Lorsque ces substances sont exposées dans les rayons extrêmes du violet du spectre, même dans les rayons invisibles, elles prennent instantanément une teinte bleuâtre assez vive; ce qui indique que les rayons invisibles, placés au delà du spectre, sont transformés en rayons moins réfringibles. Les phénomènes de fluorescence ont surtout été étudiés par M. Stokes.

### \* CHAPITRE VIII.

#### DOUBLE RÉFRACTION, INTERFÉRENCE, POLARISATION.

533. **Double réfraction.** — On a déjà vu (463) que la *double réfraction* est la propriété que possèdent un grand nombre de cristaux de donner naissance, pour un seul rayon incident, à deux rayons réfractés; d'où il résulte que lorsqu'on regarde un objet au travers de ces cristaux, on le voit double. La double réfraction a d'abord été observée par Bartholin, en 1647; mais c'est Huyghens qui, le premier, en 1673, en donna une théorie complète.

Les cristaux qui possèdent la double réfraction sont dits *biréfringents*. Cette propriété s'observe, à des degrés inégaux, dans tous les cristaux qui n'appartiennent point au système cubique. Les corps cristallisés dans ce système, et ceux qui sont privés de cristallisation, comme le verre, ne possèdent pas la double réfraction, mais peuvent l'acquérir accidentellement, quand on les comprime inégalement, ou par la *trempe*, c'est-à-dire par le refroidissement brusque après avoir été chauffés. Les liquides et les gaz ne sont jamais biréfringents. De toutes les substances, celle qui présente le phénomène de la double réfraction d'une manière plus apparente, est le spath d'Islande, ou chaux carbonatée.

Fresnel a expliqué la double réfraction par une inégale densité de l'éther dans les cristaux biréfringents; d'où résulte une vitesse du mouvement vibratoire plus rapide dans une certaine direction qui est déterminée par l'état moléculaire du cristal. Cette hypothèse se trouve confirmée par la propriété qu'acquiert le verre de devenir biréfringent par la trempe et par la compression (381).

534. **Cristaux à un axe.** — Dans un cristal doué de la double réfraction, il y a toujours une ou deux directions suivant lesquelles on n'observe que la réfraction simple, c'est-à-dire suivant lesquelles on ne voit qu'une image des objets. Ces directions se nomment *axes optiques*, ou *axes de double réfraction*. Toutefois cette dernière dénomination est impropre, car c'est précisément dans la direction de ces axes que la double réfraction n'a pas lieu.

On nomme *cristaux à un axe*, ceux qui ne présentent qu'une direction où la lumière ne se bifurque pas, et *cristaux à deux axes*, ceux qui en présentent deux.

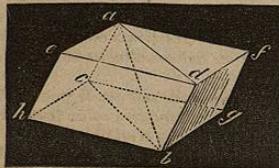


Fig. 420.

Les cristaux à un axe dont l'emploi est le plus fréquent dans les instruments d'optique, sont le spath d'Islande, le quartz et la tourmaline. Le spath a la forme d'un rhomboëdre dont les faces sont inclinées de  $103^{\circ} 5'$  (fig. 420). Les faces, au nombre de six, sont des rhombes ou losanges qui se réunissent, trois par trois, par leurs angles obtus, aux extrémités d'une droite *ab* qui est l'*axe de cristallisation*.

M. Brewster a constaté cette loi générale, dans les cristaux à un axe, que l'*axe de double réfraction coïncide toujours avec l'axe de cristallisation*.

On nomme *section principale* d'un cristal à un axe, le plan qui, passant par l'axe optique, est perpendiculaire à une face soit naturelle, soit artificielle du cristal.

535. **Rayon ordinaire et rayon extraordinaire.** — Des deux rayons réfractés auxquels donnent naissance les cristaux à un axe, l'un suit toujours les lois de la réfraction simple (464), mais l'autre n'est pas soumis à ces lois, c'est-à-dire que le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction n'est pas constant, et que le plan de réfraction ne coïncide pas avec le plan d'incidence. Le premier de ces rayons est dit le *rayon ordinaire*, et l'autre le *rayon extraordinaire*. Les images qui leur correspondent se désignent elles-mêmes sous les noms d'*image ordinaire* et d'*image extraordinaire*.

Le rayon ordinaire et le rayon extraordinaire ont des indices différents: dans certains cristaux, c'est l'indice du rayon ordinaire qui est le plus grand; dans d'autres, c'est l'indice du rayon extraordinaire. Fresnel a nommé les premiers, *cristaux négatifs*, et les derniers, *cristaux positifs*. Le spath d'Islande, la tourmaline, le saphir, le rubis, l'émeraude, le mica, le prussiate de potasse, le phosphate de chaux, sont négatifs. Le quartz, le zircon, la glace, l'apophyllite à un seul axe, sont positifs. La classe des cristaux négatifs est beaucoup plus nombreuse que celle des cristaux positifs.

La figure 421 montre la marche des rayons dans le phénomène de la double réfraction, le parallélogramme *abcd* représentant une coupe principale d'un rhomboëdre de spath d'Islande. Celui-ci étant posé sur un carton blanc, on regarde, au travers, un point noir *o* tracé sur le carton. Le rayon incident du point *o* se divise en deux rayons *oi* et *oe*, qui, se réfractant inégalement à l'émergence, donnent à l'œil deux images *o'* et *o''*.

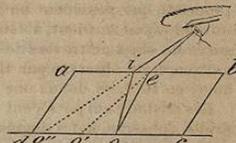


Fig. 421.

Si l'on tourne le rhomboëdre sur lui-même en le tenant toujours appliqué sur le carton, une des images reste fixe, c'est l'image ordinaire, tandis que l'image extraordinaire tourne autour de la première; ce qui indique que le plan du rayon réfracté se déplace par rapport au plan d'incidence, et, par conséquent, que le rayon extraordinaire ne suit pas les lois de la réfraction simple.

536. **Lois de la double réfraction dans les cristaux à un axe.** — Le phénomène de la double réfraction, dans les cristaux à un axe, est soumis aux lois suivantes:

1° Le rayon ordinaire, quel que soit son plan d'incidence, suit toujours les deux lois générales de la réfraction simple (464).

2° Dans toute section perpendiculaire à l'axe, le rayon extraordinaire suit aussi ces deux lois comme le rayon ordinaire, mais son indice de réfraction n'est pas le même que celui de ce dernier rayon; de là la distinction en indice ordinaire et en indice extraordinaire.

3° Dans toute section principale, le rayon extraordinaire ne suit que la seconde loi de la réfraction, c'est-à-dire que les plans d'incidence et de réfraction coïncident, mais que le rapport des sinus des angles d'incidence et de réfraction n'est pas constant.

4° La vitesse de la lumière dans un cristal n'étant pas la même pour le rayon ordinaire que pour le rayon extraordinaire, la différence des carrés de ces deux vitesses est proportionnelle au carré du sinus de l'angle que le rayon extraordinaire fait avec l'axe.