

ration des énergies accompagnant cette dissociation. Le lien est évident pour la phosphorescence des gaz, puisque ces derniers ne deviennent phosphorescents que sous l'influence d'actions électriques toujours accompagnées d'ionisation, c'est-à-dire de désintégration de leurs atomes.

Pour les autres formes de phosphorescence le lien est beaucoup moins visible. Il apparaît cependant probable, au moins pour la phosphorescence par l'action de la lumière, quand on se souvient qu'elle dissocie énergiquement la matière et que justement les radiations produisant cette dissociation sont les plus aptes à produire la phosphorescence.

La tendance à envisager la phosphorescence comme une conséquence de la dissociation des atomes commence à se dessiner chez les physiciens. De Heen, puis Lénard, sont arrivés récemment à cette conclusion que la lumière agit en provoquant l'émission d'ions négatifs sortis de l'atome et pouvant y revenir en oscillant.

A ces mouvements des éléments de l'atome dissocié serait dû le rayonnement dans l'éther produisant la phosphorescence. Sa lumière, de même nature que celle des corps incandescents, en diffère par l'absence d'élévation de température, ce qui justifie très bien le qualificatif de lumière froide employé quelquefois. Il est possible que les rayons lumineux, l'électricité et les causes diverses capables de provoquer la phosphorescence, mettent immédiatement en jeu l'énergie intra-atomique sans passer d'abord par les mouvements moléculaires comme dans le cas de la chaleur.

Cependant il n'est pas rigoureusement démontré que la lumière froide ne soit en réalité tout aussi chaude que celle engendrée par l'incandescence. Si la phosphorescence est un phénomène atomique très superficiel, il se pourrait que l'élévation de température

qui l'accompagne ne fut pas appréciable. Crookes a constaté qu'en exposant des diamants au bombardement cathodique, leur surface se transforme en graphite, ce qui implique une élévation de température de 3.600 degrés d'après Moissan et cependant les couches profondes du diamant n'en éprouvent pas de notable. Le tube où il est renfermé s'échauffe peu. Le même auteur remarque également que la surface de lames d'argent put de cette façon être portée au rouge alors que la température de toute la masse du métal s'élevait à peine malgré la conductibilité de l'argent pour la chaleur. Je dois néanmoins remarquer qu'en rendant phosphorescent par la lumière de grandes masses de certains sulfures, étalés de façon à n'avoir qu'une épaisseur de quelques centièmes de millimètre et réunissant ensuite la masse dans un flacon, sa température ne s'élève pas notablement.

Les considérations précédentes sur les origines intra-atomiques de la phosphorescence ne constituent qu'une ébauche d'explication. La solution complète du problème est encore lointaine.

Il importerait tout d'abord de bien déterminer les réactions produisant la phosphorescence. Elles sont d'un ordre tout spécial pour lequel les lois de l'ancienne chimie ne sauraient servir. Comment concevoir en effet que des réactions mettant en jeu d'insignifiantes quantités d'énergie, par exemple la très légère hydratation d'un sel de quinine puissent agir sur un édifice aussi stable que l'atome et engendrer à la fois de la radio-activité et de la phosphorescence?

Sans pouvoir élucider entièrement de tels phénomènes on en saisit au moins la possibilité avec cette notion sur laquelle nous sommes plusieurs fois revenu, que l'atome malgré sa stabilité peut devenir instable quand on fait agir sur lui un réactif approprié à sa sensibilité. Il se conduit un peu alors comme un diapason que les bruits les plus intenses sont impuis-

sants à ébranler alors qu'un son léger, mais de période convenable, le fait vibrer. Un mince faisceau de lumière ultra-violette dissociera ainsi sans difficulté les atomes d'un bloc d'acier, capable de résister aux chocs les plus violents. Quand un sel de quinine desséché devient très phosphorescent et radio-actif par le seul fait de l'addition d'un millième de son poids de vapeur d'eau nous avons simplement — sans savoir d'ailleurs pourquoi — provoqué les réactions donnant aux atomes de ce corps l'instabilité précédant la dissociation.

§ 2. — CARACTÈRE SPÉCIAL DES RÉACTIONS CHIMIQUES
CAPABLES DE DONNER AUX CORPS L'APTITUDE
A LA PHOSPHORESCENCE.

Ce qui précède va nous permettre d'entrevoir pourquoi des corps, jamais phosphorescents sous l'influence de la lumière quand ils sont purs, acquièrent cette propriété dès qu'on leur ajoute quelques millièmes de leur poids — c'est-à-dire des traces presque impondérables — de corps étrangers.

Les sulfures alcalino-terreux et les minéraux naturels ne sont jamais phosphorescents à l'état de pureté. Certains corps considérés comme très purs, tels que la fluorine employée pour tailler les lentilles, l'apatite cristallisée, etc., sont cependant phosphorescents, mais ils contiennent toujours des traces de substances étrangères. Le diamant lui-même en renferme comme l'analyse chimique le démontre.

Ce sont les combinaisons spéciales dues à la présence

de ces corps étrangers qui donnent à certains composés chimiques l'aptitude à la phosphorescence. Une fois formées, ces combinaisons présentent de curieux caractères. Très mobiles comme le prouve la rapidité avec laquelle les divers rayons lumineux font apparaître ou disparaître la phosphorescence, elles résistent cependant à des causes énergiques de destruction, puisqu'il faut 15 heures de calcination au rouge pour ôter à certaines substances leur aptitude à la phosphorescence. Cette calcination n'agit pas du tout en éliminant quelque chose, puisque la régénération de la combinaison et l'aptitude à la phosphorescence qui en est la suite, sont obtenues en faisant traverser le corps par des étincelles d'induction. La chaleur n'avait donc éliminé aucun corps, mais simplement détruit des combinaisons chimiques, capables de s'accompagner de phosphorescence, et qui se reforment sous l'influence de l'étincelle électrique.

Ces corps étrangers susceptibles de donner de la phosphorescence doivent toujours être en proportion très minime. Des substances différentes peuvent être substituées l'une à l'autre pour produire des effets, sinon identiques, au moins analogues. M. Mourelo a fait voir que, pour donner à du sulfure de strontium la propriété de devenir phosphorescent par la chaleur, il n'y avait qu'à le calciner avec un dix-millième d'un sel de manganèse ou de bismuth. Des observations semblables ont été faites pour les autres sulfures.

Les anciennes expériences d'Edmond Becquerel prouvent que les moindres variations de composition des corps mélangés ont de l'influence sur la phosphorescence. Du marbre, de la craie, du spath d'Islande, corps chimiquement identiques, puisqu'ils sont composés de carbonate de chaux, étant dissous dans de l'acide nitrique et précipités par du carbonate d'ammoniaque, donnent des carbonates de chaux qu'on

pourrait supposer semblables. Il n'en est rien cependant, puisque, en calcinant avec du soufre ces carbonates de chaux d'origines différentes, on obtiendra des sulfures de calcium dont la phosphorescence sera jaune, verte ou violette. Les carbonates de chaux employés retenaient donc des traces infinitésimales de corps étrangers variables suivant leur origine.

Un des plus singuliers caractères des combinaisons chimiques capables de donner aux corps l'aptitude à la phosphorescence sous l'influence de la lumière est, comme je le disais plus haut, une mobilité extrême, c'est-à-dire la faculté de se former et se défaire indéfiniment d'une façon presque instantanée. Certaines radiations produisent la phosphorescence du sulfure de zinc en $1/10^{\circ}$ de seconde et d'autres la détruisent dans le même temps. Divers animaux, tels que le ver luisant, possèdent également cette propriété de faire apparaître et disparaître instantanément leur phosphorescence.

La notion de réactions chimiques se produisant au sein de corps parfaitement solides, comme le diamant, la fluorine, les sulfures alcalino-terreux, est évidemment en dehors des idées classiques. Celles-ci n'admettent guère, suivant l'ancien adage des chimistes, que les corps puissent agir les uns sur les autres autrement qu'à l'état de solution, et ne reconnaissent pas davantage des combinaisons en proportions ni simples ni définies. La science chimique n'en connaît aucune d'ailleurs pouvant presque instantanément se faire, se défaire et se refaire indéfiniment sous des influences aussi légères qu'un rayon de lumière.

En quoi consistent ces combinaisons dans lesquelles un des éléments est en proportion infiniment petite relativement à l'autre ?

Nous savons, par tout ce qui précède, que

celles rendant possible la phosphorescence réalisent les conditions suivantes : 1° les corps, dont l'addition produit la combinaison accompagnée de phosphorescence, quand ils sont excités par la lumière ou la chaleur, doivent être ajoutés en proportion très faible ; 2° les combinaisons formées sont mobiles et régénérables puisqu'elles se défont et se refont en une courte fraction de seconde ; 3° ces combinaisons, si rapidement défaites et régénérées, sont intimement liées à l'action de la température qui, lorsqu'elle est élevée les détruit très vite et fort lentement lorsqu'elle est suffisamment basse. Le corps phosphorescent émet dans ce dernier cas pendant des mois des radiations invisibles. Le retour de la combinaison à son état primitif est complètement arrêté à une température plus basse encore et jusqu'au jour où on l'élèvera, le corps conserve indéfiniment son aptitude à la phosphorescence.

Nous ne connaissons pas, en dehors des corps phosphorescents, de combinaisons chimiques pouvant réaliser ces diverses conditions. Il existe bien des corps possédant peu de fixité comme l'ozone, forme transitoire et instable de l'oxygène, mais une fois détruits ils ne se reforment pas. Nous sommes donc obligés d'admettre qu'il s'agit d'un ordre de réactions chimiques tout à fait inconnues. Elles le seront probablement longtemps, puisque leur extrême instabilité, la facilité avec laquelle elles se détruisent et se régénèrent, les soustraient à tous les procédés actuels d'analyse chimique. Déterminer les corps en présence est sans intérêt, car ce sont les combinaisons formées qu'il faudrait saisir.

Le problème se complique encore, parce que les corps étrangers dont la combinaison provoque l'aptitude à la phosphorescence paraissent n'agir qu'en donnant de l'instabilité à l'atome de façon à lui permettre de libérer les énergies qu'il contient. On pour-

rait peut-être rapprocher ces phénomènes de ce qui se passe dans les solutions très étendues de sels métalliques. Leurs éléments, d'après les idées actuelles, s'y trouvent dissociés par le fait seul de la dissolution.

Nous commençons à peine en réalité à soupçonner les causes de la phosphorescence, mais ce que nous entrevoyons permet de pressentir qu'elle constituera un des chapitres les plus importants de la chimie, et se rattachant sûrement à l'histoire, à peine ébauchée, de la dissociation de la matière.

LIVRE IV

LA LUMIÈRE NOIRE

CHAPITRE I

La phosphorescence invisible.

§ I. — LES DIVISIONS DE LA LUMIÈRE NOIRE.

L'apparition, en 1896, du travail de Roëntgen sur les rayons X me fit publier immédiatement, pour prendre date, une note sur des radiations particulières, capables de traverser les corps, que j'étudiais depuis deux ans et qui ne se rattachaient à rien de connu. Je les désignai sous le nom de Lumière noire en raison de leurs propriétés d'agir quelquefois comme la lumière tout en étant invisibles.

Ces radiations, que je n'avais pas encore eu le temps de séparer à cette époque, se composaient de trois éléments très distincts : 1° Particules radio-actives de la famille des rayons cathodiques. 2° Radiations de grande longueur d'onde. 3° Radiations dues à la phosphorescence invisible.

J'ai déjà exposé dans *l'Évolution de la Matière*¹

1. Page 22 de la 12^e édition.

comment j'arrivai progressivement à distinguer ces divers éléments.

La première des trois catégories de radiations énumérées plus haut étant très parentes des rayons cathodiques et des émissions radio-actives, il serait inutile maintenant de leur donner un nom spécial. Je ne désignerai donc désormais sous le nom de Lumière noire que : 1° Les radiations invisibles, totalement inconnues avant mes recherches, émises par certains corps phosphorescents; 2° Les radiations de grande longueur d'onde appartenant à la partie infra-rouge du spectre. Cette dernière région était connue depuis fort longtemps, mais la plupart de ses propriétés ignorées. On ne soupçonnait pas, avant mes investigations, que ces radiations traversaient un grand nombre de corps, permettaient de faire de la photographie instantanée dans l'obscurité et possédaient des actions physiologiques très spéciales.

La première des catégories de radiations, énumérées plus haut, a la même composition que la lumière ordinaire et en diffère seulement par l'invisibilité. Les désigner avec celles de l'infra-rouge, sous le terme de Lumière noire, c'est compléter l'échelle des radiations invisibles.

La *lumière noire* comprend donc : 1° La lumière invisible émise par certains corps phosphorescents. 2° La lumière infra-rouge invisible qui — pour le spectre solaire — va jusqu'à 5 μ et possède par conséquent une étendue plus de dix fois supérieure à celle du spectre visible.

Je vais étudier maintenant cette division de la lumière noire constituée par la phosphorescence invisible.

§ 2. — HISTORIQUE DE LA PHOSPHORESCENCE INVISIBLE.

Lorsque j'ai publié en 1899 et en 1900 les détails des expériences à l'exposé desquelles est consacré ce chapitre, elles semblèrent si étonnantes aux physiiciens qu'ils préférèrent ne pas y croire. La vérification des plus fondamentales était pourtant facile, puisqu'elle n'exigeait pas une dépense d'argent supérieure à 50 centimes et une dépense de temps excédant quelques minutes. J'ai su cependant que plusieurs les avaient répétées; mais, étonnés de leur succès, ils crurent prudent de taire des résultats qui ne pouvaient évidemment compter puisque la science officielle ne les avait pas consacrés. Aujourd'hui encore, c'est avec beaucoup de timidité que mes recherches sont consignées dans quelques traités de physique. Un savant distingué, M. Gariel, professeur de physique à la Faculté de médecine de Paris, après les avoir résumées, s'exprime de la façon suivante: « Ces faits sont presque extraordinaires. Il n'y a pas lieu cependant de les écarter, car les phénomènes relatifs aux radiations ne sont certainement pas tous connus ». (*Physique biologique*, t. 2, p. 261). Cette citation sert au moins à montrer que si la découverte de faits nouveaux est parfois difficile, il l'est bien plus encore de les faire admettre.

La phosphorescence invisible, que j'ai découverte est caractérisée par les phénomènes suivants: 1° un corps phosphorescent exposé à la lumière conserve, pendant une période d'environ dix-huit mois, la propriété d'émettre d'une façon continue dans l'obscurité des radiations invisibles capables de se réfracter, de se polariser et d'impressionner les plaques photographiques. Le spectre de ces radiations, analogue à celui de la lumière n'en diffère que par l'invisibilité; 2° au bout de ces dix-huit mois, le corps ne

rayonne plus rien d'appréciable, mais il conserve *indéfiniment* un résidu qu'on peut rendre visible en projetant à sa surface des radiations infra-rouges obscures.

Ces phénomènes étaient entièrement ignorés et rien n'autorisait à les prévoir. Sans doute, on a su de tout temps que beaucoup de corps sont phosphorescents par la chaleur et, par conséquent, conservent depuis leur formation géologique une aptitude à la phosphorescence qui apparaît dès qu'on les chauffe. Mais comme ces corps ne rayonnent absolument rien dans l'obscurité avant d'être échauffés, ils ne donnent naissance à aucune phosphorescence invisible. Celle qu'ils manifestent par la chaleur est une phosphorescence très visible.

Malgré leurs longues recherches sur la phosphorescence, E. Becquerel et H. Becquerel ont ignoré le phénomène de la phosphorescence invisible. Jamais ils n'ont soupçonné que des corps frappés un instant par la lumière pouvaient émettre spontanément dans l'obscurité des radiations invisibles pendant de longs mois. Tout en sachant, comme l'avait observé Canton, qu'un sulfure phosphorescent chauffé quelque temps après insolation et extinction redevient un instant légèrement lumineux, E. Becquerel supposait que l'émission spontanée des radiations cesse vite et que de la chaleur était nécessaire pour expulser le léger résidu phosphorescent conservé, d'après lui, jamais bien longtemps. Voici, d'ailleurs, comment il s'exprime dans son livre sur la lumière, (t. I^{er}, p. 52 et 59) : « Quand ces substances
« (sulfures phosphorescents) ont été exposées à la
« lumière et sont placées dans une obscurité pro-
« fonde pendant quelque temps, 3 ou 4 jours, elles
« perdent presque entièrement la faculté de luire
« immédiatement par une élévation de température...
« Ainsi la modification acquise par l'action du rayon-

« nement ne se conserve en partie que pendant un
« certain temps dans les corps phosphorescents, puis
« finit par disparaître... »

Le rayonnement spontané *invisible*, qui se produit sans aucune intervention de température, avait donc échappé à cet éminent physicien. Il n'est pas vrai du tout que « la modification acquise par l'action du rayonnement ne se conserve que pendant un certain temps, puis finit par disparaître ». Nous verrons qu'une partie des modifications imprimées par la lumière aux corps phosphorescents se conserve *indéfiniment*, alors même qu'ils ont cessé d'émettre aucune phosphorescence invisible, ce qui n'arrive d'ailleurs qu'au bout de dix-huit mois environ.

Il existe deux formes de la phosphorescence invisible : 1° celle qui suit la phosphorescence visible ; 2° celle qui la précède. Elles peuvent être transformées aisément en lumière visible.

§ 3. — PROPRIÉTÉS DE LA PHOSPHORESCENCE INVISIBLE.

La phosphorescence invisible, succédant à la phosphorescence visible constitue une des formes les plus ignorées et les plus curieuses de la lumière. Il eût été difficile de prévoir avant nos expériences qu'un corps exposé un instant au soleil, puis maintenu dans l'obscurité, conserverait pendant dix-huit mois la propriété d'émettre sans interruption des radiations identiques à la lumière et n'en différant que par une invisibilité absolue.

La plupart des corps frappés par la lumière conservent pendant un temps parfois très long la propriété d'émettre des radiations obscures susceptibles d'impressionner la plaque photographique. Mais c'est avec ceux qui peuvent acquérir d'abord la phosphorescence visible qu'on peut le mieux étudier le phénomène.

Voici, d'abord, les expériences par lesquelles j'ai déterminé les propriétés de la lumière ainsi émise :

1° *Durée de l'émission et variation de l'intensité des rayons émis en fonction du temps.* — Du sulfure de calcium en poudre emprisonné entre deux lames de verre est exposé à la lumière pendant quelques secondes, puis transporté dans le tiroir d'une armoire placée dans un cabinet obscur où aucune lumière n'a pénétré pendant la durée des expériences, c'est-à-dire pendant plusieurs années. Au bout de 24 heures l'écran est devenu entièrement obscur. Sans sortir du cabinet noir on le met sur un cliché photographique au-dessous duquel est placée une plaque au gélatino-bromure. Maintenant toujours le système ainsi constitué dans l'obscurité, on observe ce qui suit :

Trois jours après l'insolation, une image très vigoureuse du cliché est obtenue en 2 heures. Au bout de 15 jours, la pose doit être de 12 heures. Au bout de 25 jours, de 30 heures. Au bout de 6 mois, elle doit être de 40 jours. Après 18 mois, on obtient encore des traces d'image après 60 jours de pose.

Ce qui précède prouve que la charge résiduelle, donnée par 2 secondes d'exposition au soleil, a demandé 18 mois pour se dissiper graduellement.

2° *Propagation en ligne droite et réfraction.* — La propagation en ligne droite et la réfraction de la lumière résiduelle obscure sont démontrées par l'expérience suivante :

Une statue enduite de sulfure de calcium délayé dans du vernis copal est exposée pendant quelques secondes à la lumière. Trois ou quatre jours après qu'elle est devenue entièrement obscure, on la met devant une chambre noire photographique placée dans une cave où n'a jamais pénétré la lumière du jour. La mise au point a été réglée d'avance. En se servant d'un objectif à portrait, à très grande ouverture, on obtient avec des poses variant de huit à quinze jours, des images aussi parfaites qu'à la lumière du jour. Les ombres varient à la volonté de l'opérateur, puisqu'elles ne dépendent que de la position donnée à la statue pendant l'insolation (fig. 24 et 25).

3° *Polarisation.* — La double réfraction, et par conséquent la polarisation, sont démontrées par l'expérience suivante :

Une lame de spath d'Islande est introduite dans le système optique de l'objectif, dont il a été fait précédemment usage, et la statuette est remplacée par deux tubes de verre en croix remplis de sulfure fixés à une place déterminée d'avance, de façon à avoir une bonne mise au point. En opérant comme précédemment, quelques jours

après l'extinction du sulfure, on observe, sur un des axes de la croix, deux images partiellement superposées dont l'intensité est moitié moindre que celle de la partie non dédoublée, conformément à la théorie (fig. 26).

Cette expérience prouve à la fois l'émission des radiations invi-



FIG. 24 et 25. — *Reproduction photographique dans l'obscurité de statues, au moyen des radiations invisibles qu'elles émettent pendant 18 mois, après avoir été frappées par la lumière. (Les ombres dépendent de la position de la statue pendant son insolation). Les réserves en noir correspondant aux parties des statues n'ayant pas été recouvertes de la substance produisant la luminescence invisible. Elles sont destinées à prouver qu'aucune lumière artificielle n'a pu pénétrer dans l'enceinte et produire l'impression photographique.*

sibles, leur propagation en ligne droite, leur réfraction et leur aptitude à la polarisation.

4° *Composition des rayons émis.* — La netteté parfaite des images obtenues dans les expériences précédentes prouve déjà que

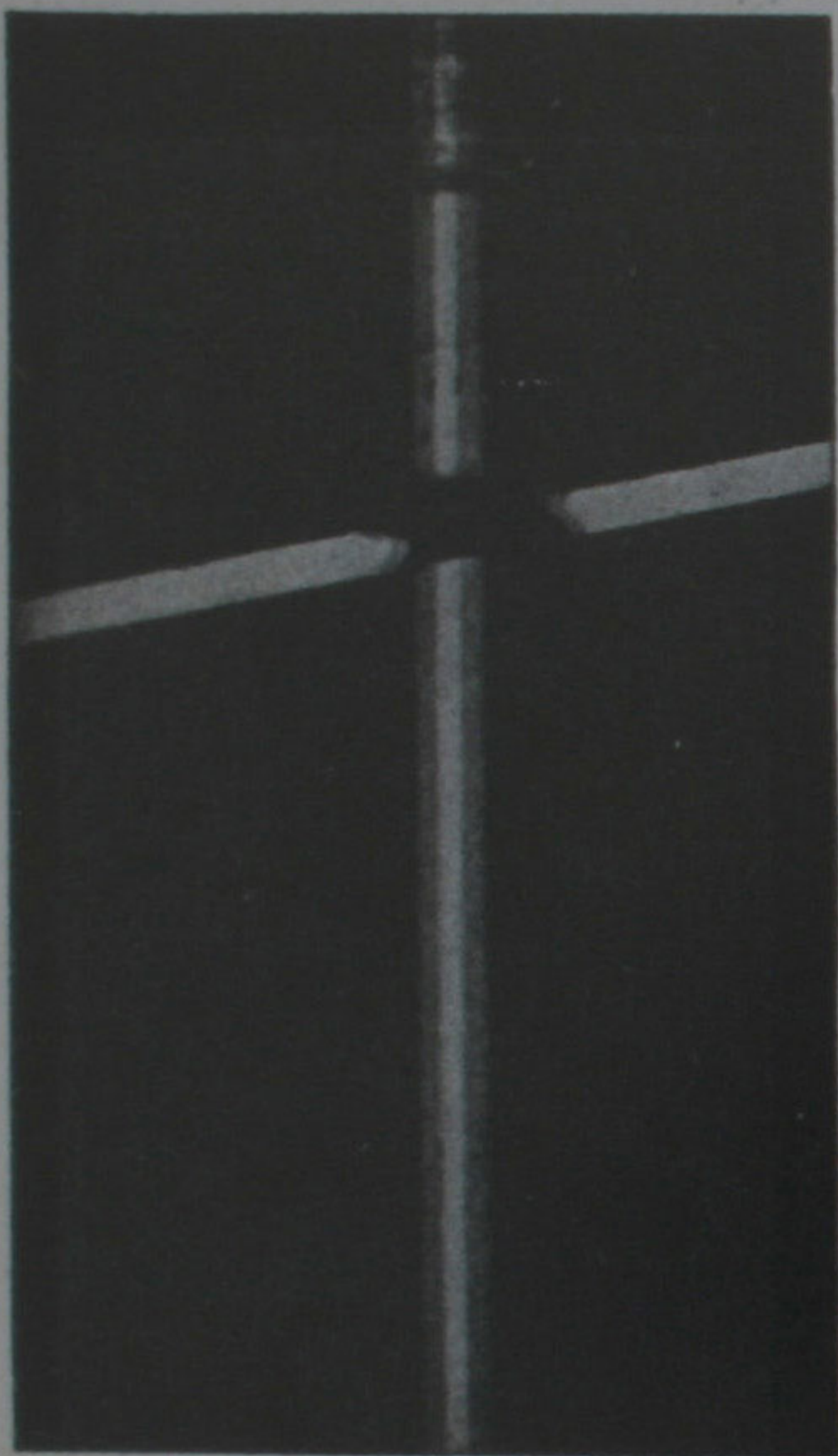


FIG. 26. — *Polarisation par double réfraction des radiations obscures émises par les corps doués de phosphorescence invisible.*

Dédoublément de l'une des branches de la croix. Images superposées à leur partie centrale et permettant la comparaison de l'intensité des parties dédoublées. (Sur le négatif, la partie centrale est naturellement la plus foncée.)

l'indice de réfraction des lentilles pour les rayons obscurs est le même que pour la lumière visible. S'il en avait été autrement, la mise au point faite préalablement à la lumière ordinaire n'eût pas été exacte pour des rayons de longueurs d'ondes différentes, surtout avec un objectif à portrait dont la profondeur focale est à peu près nulle. Mais ce n'est là qu'une indication. Pour connaître la composition des rayons actifs, il eût fallu les disperser par un prisme et les photographier. Cette expérience n'était pas réalisable à cause de la nécessité d'employer, pour obtenir des photographies de spectres prismatiques un peu nettes, une fente très fine qui absorbe la presque totalité de la lumière. On a tourné la difficulté en employant un spectre artificiel, composé de bandes de verres de couleur fixées sur une lame de crown incolore. Ce spectre fut exposé d'abord à la lumière ordinaire au-dessus d'une plaque sensible, et l'image ainsi obtenue, après développement, a été comparée aux images successives obtenues en interposant le même spectre artificiel entre

l'écran de sulfure obscur et la plaque sensible. Les images vinrent identiques dans les deux cas, c'est-à-dire nulles du rouge au vert et très intenses sous le verre bleu.

De ces expériences, on peut conclure : 1° Qu'il y a identité de composition entre la lumière solaire visible et la lumière obscure émise par les corps

exposés à des radiations lumineuses pendant un instant. La seconde ne diffère de la première que par son invisibilité résultant de la faible amplitude des ondes émises ; 2° Que l'émission de cette lumière résiduelle invisible persiste pendant fort longtemps.

§ 4. — PERSISTANCE DE L'APTITUDE A LA PHOSPHORESCENCE
APRÈS LA CESSATION DU RAYONNEMENT SPONTANÉ.
TRANSFORMATION DE LA PHOSPHORESCENCE INVISIBLE
EN PHOSPHORESCENCE VISIBLE.

Nous venons de voir que pendant 18 mois certains corps phosphorescents peuvent émettre des radiations invisibles, mais qu'il arrive un moment où l'émission cesse entièrement. Nous allons montrer maintenant que ces corps obscurs qui, après avoir rayonné pendant si longtemps, semblaient avoir perdu toute leur énergie, conservent indéfiniment une certaine provision de phosphorescence résiduelle. On la rendra visible à un moment quelconque, après 10 ans de séjour dans l'obscurité, par exemple, en faisant tomber à la surface des corps certaines radiations invisibles. Ils deviennent alors assez vivement lumineux pour être photographiés en quelques minutes à la chambre noire.

J'ai constaté pour la première fois le fait qui précède avec les écrans de sulfure de calcium ayant servi à mes anciennes expériences et ne donnant plus d'impressions photographiques au bout de 18 mois après 6 semaines de pose. Ils avaient été alors abandonnés dans l'obscurité où ils se trouvent encore depuis plus de 10 ans.

Mettons dans l'obscurité un de ces écrans dans un châssis photographique dont le verre a été recouvert d'une feuille de papier noir ou d'une lame d'ébonite,

corps opaques pour la lumière ordinaire, mais très transparents, comme je l'ai montré, pour les radiations obscures de grandes longueurs d'onde. Exposons ce châssis pendant vingt ou trente secondes devant une lampe à pétrole, puis portons-le dans l'obscurité pour l'ouvrir et l'examiner. Nous constaterons alors que, sous l'influence des radiations invisibles, l'écran, obscur depuis plusieurs années, est redevenu lumineux. Sa phosphorescence suffit pour donner une impression photographique par contact, en deux ou trois minutes, alors qu'il n'en donnait pas une en six semaines de pose auparavant.

La phosphorescence ainsi produite disparaît rapidement, mais la même expérience peut se répéter sur le même écran plus de cinquante fois à des intervalles quelconques, c'est-à-dire pendant un nombre illimité d'années. Naturellement un moment arrive où le résidu phosphorescent étant épuisé par ces expériences successives, les radiations obscures ne produiront aucun effet, à moins d'une insolation nouvelle. Il s'agissait donc bien d'une charge résiduelle limitée ne se renouvelant pas spontanément, mais qu'on peut garder indéfiniment avant de la dépenser.

Un grand nombre de corps possèdent ainsi la propriété d'acquérir une provision de lumière résiduelle dont une partie se dissipe spontanément et dont l'autre partie se conserve indéfiniment. Chez quelques-uns, tels que les sulfures de calcium et de strontium, la lumière résiduelle invisible peut devenir visible simplement sous l'influence de radiations obscures de grande longueur d'onde, même quand l'écran exposé à ces radiations est maintenu à très basse température, par exemple entre deux cuves de verre de un centimètre d'épaisseur pleines d'eau congelée. La chaleur ne doit donc pas être invoquée comme cause du phénomène. Il est important de le constater, car elle produirait le même effet, si on

l'élevait à 80 degrés environ. L'action produite par la chaleur est d'ailleurs fort différente de celle engendrée par les radiations obscures, comme nous le montrerons bientôt.

Les expériences précédentes réussissent très bien avec plusieurs sulfures phosphorescents, celui de calcium notamment, mais pas du tout avec le sulfure de zinc, pour cette raison, sur laquelle nous reviendrons ailleurs, que les radiations de grande longueur d'onde, capables de détruire la phosphorescence de ce sulfure, sont incapables de l'exciter. Le sulfure de zinc gardera, comme les autres sulfures, une charge résiduelle indéfiniment, mais cette charge ne sera expulsée que par une température voisine de 100 degrés et nullement par les radiations obscures infra-rouges.

Il existe beaucoup d'autres corps, le diamant par exemple, qui peuvent garder indéfiniment une phosphorescence résiduelle qu'il est possible de rendre visible par la chaleur, mais non par de l'infra-rouge. Un diamant du Brésil exposé au soleil acquiert une phosphorescence visible rapidement perdue; mais il conserve une phosphorescence invisible qu'on peut faire apparaître au bout de quelques années en le chauffant à 200 degrés environ.

Au lieu d'exécuter les expériences précédentes avec des écrans phosphorescents demandant une petite préparation, on peut les réaliser plus simplement en mettant le sulfure de calcium dans un tube placé après insolation, à l'intérieur d'une boîte fermée par une lame d'ébonite, ou mieux par une lame de verre couverte de vernis dit japonais, en couche assez épaisse pour que le disque du soleil soit invisible à travers¹. Au bout de vingt-quatre heures, le sulfure

1. Pour que la couche soit assez épaisse, on colle un petit rebord de carton autour du verre. La couche peut avoir une épaisseur quelconque. J'ai constaté qu'une

ne brillera plus ; mais maintenu dans l'obscurité, il conservera indéfiniment la faculté de devenir lumineux quand les radiations invisibles dont il a été parlé tomberont sur sa surface.

Pour le prouver, il n'y aura qu'à exposer, pendant une minute, la boîte fermée contenant le tube plein de sulfure de calcium devant une lampe à pétrole. En l'ouvrant ensuite dans l'obscurité, on verra que le tube est devenu lumineux. C'est à cette expérience dont la répétition est extrêmement facile que je faisais allusion au commencement de ce chapitre.

Pour rendre les expériences précédentes plus démonstratives encore, je mets au fond d'une grande boîte en carton, fermée comme il a été dit plus haut, des bas-reliefs enduits d'une couche de sulfure de calcium délayé dans du vernis à bronzer et j'abandonne cette boîte dans l'obscurité. Si, à une époque quelconque, elle est exposée toujours fermée, devant une lampe pendant deux minutes et ouverte ensuite dans un cabinet noir, les statues sont lumineuses. L'opération peut être faite plusieurs semaines¹ après insolation.

Jusqu'ici, nous avons fait intervenir, pour réveiller la phosphorescence éteinte, des radiations visibles traversant un écran opaque qui les rend invisibles. Mais l'expérience, sous cette forme, peut laisser supposer que de la lumière ordinaire a pu passer à travers une fente de la boîte pour illuminer le sulfure.

épaisseur de 1 centimètre est aisément traversée par les radiations infra-rouges. Le seul inconvénient des couches trop épaisses, c'est qu'elles mettent plus d'une semaine pour sécher. Une couche de 1 millimètre suffit d'ailleurs pour obtenir une opacité absolue pour l'œil, ce qu'on reconnaît en l'interposant entre le disque du soleil et l'œil.

1. Pendant plusieurs semaines, et non indéfiniment comme je l'ai dit plus haut pour les tubes pleins de sulfure de calcium. Cette différence tient simplement à ce que les vernis mélangés aux sulfures altèrent rapidement leur composition. Les écrans dont la luminosité a pu être réveillée pendant dix ans — et pourra l'être probablement pendant des siècles — étaient simplement formés de sulfure de calcium en poudre comprimée entre deux lames de verre.

Nous allons maintenant supprimer toute source visible de lumière, placer l'observateur dans l'obscurité complète et, de cette obscurité, faire graduellement surgir à ses yeux une statue lumineuse qu'aucun rayon de lumière visible n'aura touchée.

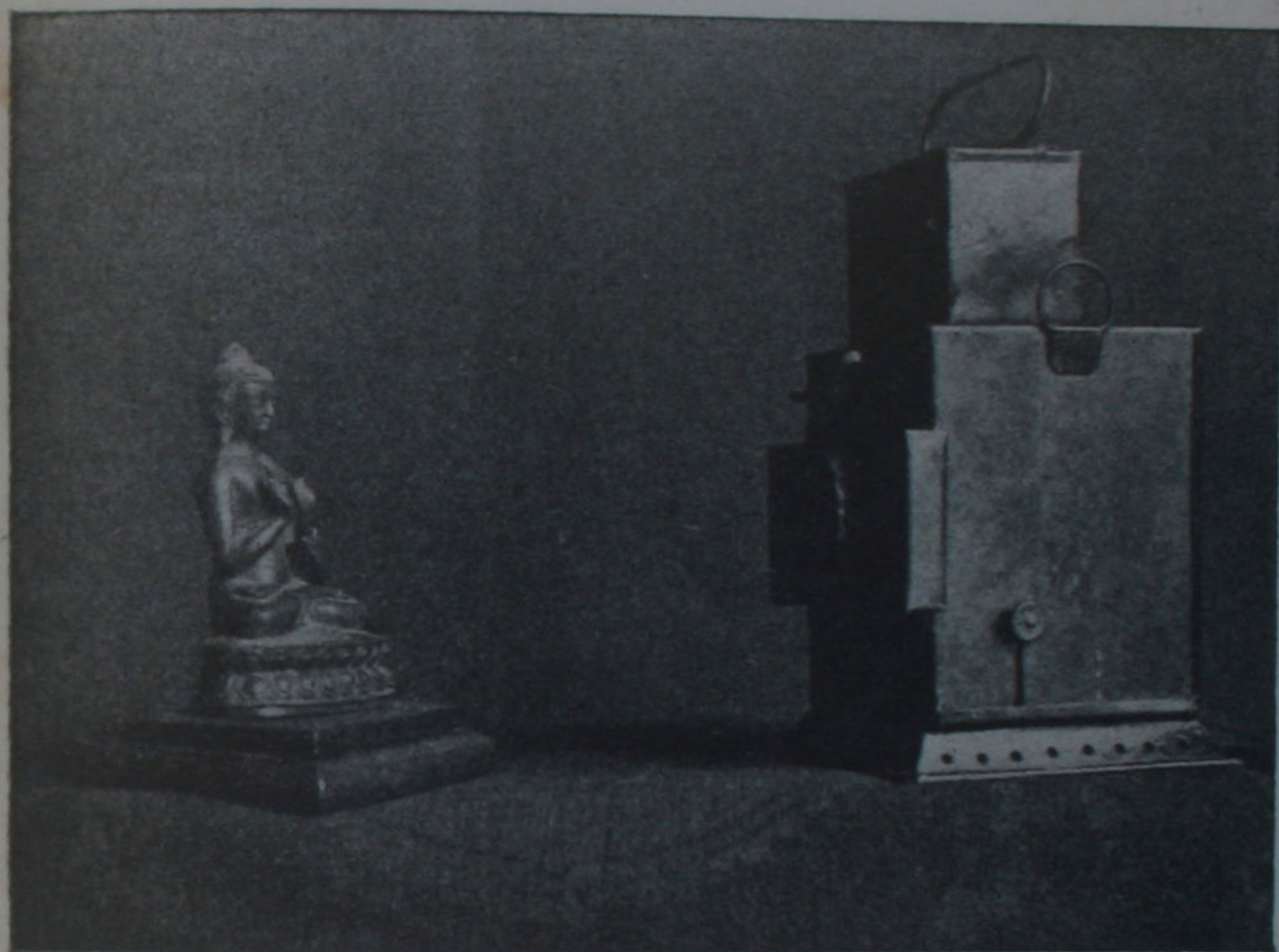


FIG. 27. — Dispositif de l'appareil employé pour rendre lumineuse dans l'obscurité une statuette au moyen des radiations invisibles émises par une lampe dont la lumière est masquée par un corps opaque. L'observateur se trouve donc dans une obscurité complète.

Bien que très frappante, l'expérience est des plus simples et se déduit aisément de ce qui précède. Le lecteur, ayant bien compris nos explications, voit de suite que si, on enferme une lampe dans une boîte opaque, au lieu de la statue, le résultat sera identique. On opère de la façon suivante :

Dans une salle obscure — et, à son défaut, il n'y a qu'à faire l'expérience la nuit — on dispose sur une table la lampe noire déjà décrite, qui ne laisse passer aucun filet de lumière visible. Devant elle on place

une statuette couverte de sulfure de calcium abandonnée depuis plusieurs jours dans l'obscurité, et par conséquent ne présentant aucune trace de phosphorescence. Tout étant ainsi préparé, l'observateur voit au bout de une à deux minutes la statue s'illuminer et surgir des ténèbres.

L'expérience, fort curieuse, impressionne vivement les assistants. Il semble, en effet, très étrange de voir les radiations obscures de la lampe, ajoutées aux radiations obscures du sulfure, produire de la lumière visible. C'est un peu l'inverse de la célèbre expérience des interférences de Fresnel, dans laquelle des rayons visibles, ajoutés à d'autres rayons également visibles, produisaient de l'obscurité.

La lumière ainsi obtenue, bien qu'elle ne soit pas très vive, l'est assez cependant pour que, avec un objectif à portrait disposé d'avance à une place convenable, on puisse obtenir la photographie de la statue en vingt minutes de pose. On maintient, bien entendu, la lampe noire près de la statue pendant toute la durée de l'opération; car si on la retirait, la phosphorescence s'éteindrait en moins d'une minute. Nous donnons (fig. 28) la reproduction de statuettes ainsi obtenues.

Ce qui précède prouve que la phosphorescence résiduelle, emmagasinée par certains corps, est formée d'un élément transitoire et d'un élément permanent, tous deux susceptibles de se transformer en lumière visible. Mais alors que l'élément transitoire se dissipe spontanément par rayonnement dans un temps plus ou moins long, l'élément permanent ne rayonne pas spontanément et persiste jusqu'à ce qu'on l'expulse, soit par la chaleur, soit sans aucune élévation de température, en exposant le corps à des radiations obscures d'une certaine longueur d'onde.

§ 5. — PHOSPHORESCENCE INVISIBLE PRÉCÉDANT
LA PHOSPHORESCENCE VISIBLE.

La phosphorescence invisible, qui suit la phosphorescence visible, comme nous venons de le voir, peut



FIG. 28. — *Reproduction photographique dans l'obscurité de statuette illuminées en projetant à leur surface des radiations obscures de grande longueur d'onde. En se combinant avec les radiations également obscures émises par les statuette, elles rendent ces dernières lumineuses. Les choses se passent comme si des radiations obscures ajoutées à d'autres radiations également obscures produisaient de la lumière.*

aussi la précéder. On le prouve par les expériences suivantes :

Prenons un écran fait avec un corps phosphorescent s'impressionnant lentement à la lumière, tel que le sulfure de strontium, et dépouillons-le par la cha-

leur de toute phosphorescence résiduelle. Plaçons-le alors dans le châssis d'un appareil photographique, muni d'un obturateur donnant environ le $1/5^e$ de seconde, dirigeons l'appareil vers le ciel et démasquons l'obturateur de façon que la plaque soit exposée à la lumière pendant $1/5^e$ de seconde. En ouvrant ensuite le châssis dans l'obscurité, nous constatons que le sulfure n'est pas lumineux, mais il suffira de le poser sur une plaque chauffée à 200 degrés pour que son illumination se produise. Sa courte exposition à la lumière lui avait donc donné une phosphorescence invisible.

L'expérience peut se faire plus simplement avec d'autres corps, par exemple le spath d'Islande. Ce composé acquiert une phosphorescence visible très faible par la chaleur et aucune par la lumière; mais si on l'insole, puis qu'on le chauffe à 200 degrés, il brille assez vivement pendant quelques instants, prouvant que la lumière lui avait communiqué une certaine quantité de phosphorescence invisible. On peut répéter indéfiniment cette série d'opérations, c'est-à-dire rendre au spath la même luminosité par la chaleur, après l'avoir insolé.

§ 6. — EFFETS COMPARÉS DES RADIATIONS INFRA-ROUGES ET DE LA CHALEUR SUR LA PHOSPHORESCENCE.

Les premiers observateurs, ayant étudié l'action des diverses parties du spectre sur les corps susceptibles de phosphorescence, constatèrent très vite que les radiations allant du bleu à l'ultra-violet produisent la phosphorescence et que celles qui vont du vert jusque très loin dans l'infra-rouge, l'éteignent.

H. Becquerel crut trouver l'explication de cette action destructive de l'infra-rouge, en disant qu'il agit simplement comme source de chaleur et oblige ainsi

le corps à épuiser très vite sa provision de phosphorescence. Cette explication fut répétée, depuis cette époque, dans tous les ouvrages de physique.

Il suffisait cependant d'observations très simples pour voir qu'elle est fondée sur une apparence n'existant même pas, du reste, pour tous les corps phosphorescents. Les expériences suivantes permettent de différencier nettement le rôle spécifique de l'infrarouge et celui de la chaleur.

On colle sur un même carton deux petits écrans, l'un de sulfure de calcium, l'autre de sulfure de zinc, et on les expose simultanément après insolation aux radiations infrarouges de notre lampe noire. Le sulfure de calcium brille plus vivement, mais le sulfure de zinc s'éteint aussitôt sans aucune augmentation d'éclat.

Ce n'est là qu'une première indication. Nous allons montrer que la chaleur et l'infrarouge exercent sur la phosphorescence deux actions très différentes. Elles peuvent s'ajouter, d'où l'erreur d'interprétation signalée plus haut, mais aussi agir en sens exactement contraire.

Voyons d'abord le cas où ces deux effets, action spécifique de certaines radiations et chaleur, semblent identiques.

Prenons un écran de sulfure de calcium insolé depuis un quart d'heure et exposons-le à l'action de notre lampe noire, soit devant la cheminée métallique, soit devant la partie fermée par de l'ébonite qui laisse passer l'infrarouge. Dans les deux cas, la phosphorescence sera activée d'abord puis s'éteindra. L'action de la chaleur est seulement plus lente que celle de l'infrarouge, parce qu'elle n'agit que lorsque la surface de l'écran a eu le temps de s'échauffer.

Mêmes résultats si l'on emploie un écran insolé depuis quelques jours et par conséquent obscur. Il brillera devant toutes les parties de la lampe noire, c'est-à-dire sous l'action de la chaleur et sous celle de l'infrarouge.

En se bornant à ces expériences on conclurait comme les anciens observateurs que les rayons infrarouges agissent en échauffant l'écran phosphorescent.

Pour montrer l'inexactitude de cette interprétation, répétons l'expérience précédente, mais en interposant entre l'écran de sulfure et la lampe une lame de verre destinée à empêcher l'échauffement de la matière phosphorescente. Les effets seront alors fort différents.

Devant l'ébonite, c'est-à-dire dans la région à basse température, mais laissant passer beaucoup d'infrarouge, il y aura encore illumination. Devant la cheminée de la lampe, c'est-à-dire dans la

region assez chaude, et agissant comme corps chaud, il n'y en a plus. La lame de verre interposée qui empêche l'action de la chaleur empêche aussi la phosphorescence. Il est donc évident que le rôle de la chaleur et celui des radiations de grande longueur d'onde sont très différents.

On pourrait objecter que si l'infra-rouge possède l'action spécifique que je lui attribue, en dehors de tout rôle calorifique, la cheminée de la lampe dont on empêche l'action par l'interposition d'un verre devrait cependant agir puisqu'elle produit, ainsi que tous les corps chauds, de l'infra-rouge. Mais comme les parois de cette cheminée ne dépassent guère 100° , les ondes émises n'ont pas une longueur inférieure à 5 ou 6μ ; or, ces dernières sont sans action spécifique sur la phosphorescence. Elles agissent seulement par l'échauffement qu'elles peuvent à la longue produire et c'est pourquoi l'interposition d'une lame de verre supprime toute action. A travers l'ébonite, le verre noir, etc., sortent des radiations de $0\mu,8$ à 3μ environ ayant une action spécifique indépendante de l'action calorifique qu'elles finiraient à la longue par produire et c'est pourquoi elles agissent instantanément sur la phosphorescence.

Pour rendre la théorie qui précède plus convaincante encore, nous allons montrer maintenant que l'infra-rouge peut produire sur les deux moitiés d'un même écran des effets opposés suivant qu'il agit par son action spécifique ou son action calorifique.

A l'écran de sulfure de calcium substituons un écran de sulfure de zinc à phosphorescence verte. Insolons-le à la lumière du jour, plaçons-en une moitié devant la cheminée métallique de la lampe (c'est-à-dire devant une source de chaleur), et l'autre moitié devant l'ébonite qui masque la flamme et laisse passer les radiations infra-rouges. Sur les deux moitiés de l'écran les effets seront diamétralement opposés. Devant l'ébonite l'écran s'éteindra instantanément *sans qu'il y ait eu au préalable aucun accroissement de la phosphorescence*. Devant la cheminée métallique sa phosphorescence sera au contraire notablement accrue.

Si, au lieu d'avoir été insolé avant l'exposition à la lampe, l'écran de sulfure de zinc est resté quelque temps dans un cabinet noir, de façon à ne plus présenter de phosphorescence visible, la différence d'action entre la chaleur et les radiations infra-rouges se manifestera encore. L'écran redeviendra phosphorescent devant la paroi métallique chaude et restera obscur devant l'ébonite dont les rayons ne peuvent plus détruire la phosphorescence visible puisqu'elle est déjà éteinte ¹.

Ces expériences mettent en évidence les différences fonda-

1. Dans toutes ces expériences où on compare des plages lumineuses d'intensité inégale, il est bon de mettre sur les écrans une étroite lame d'étain (du côté regardant la lampe), ce qui leur conserve l'intensité qu'ils auraient eue sans avoir été exposés à aucune radiation.

mentales qui existent entre l'effet de la chaleur et l'action spécifique de certaines radiations.

On peut compléter la démonstration précédente en serrant l'écran phosphorescent entre deux cuves d'eau congelée de 1 centimètre d'épaisseur avant de le placer devant les radiations infra-rouges de la lampe. Bien que sa surface ne puisse dans de telles conditions s'échauffer, on observe devant l'ébonite les effets d'illumination du sulfure de calcium et d'extinction du sulfure de zinc déjà décrits.

Il est donc clair que les radiations infra-rouges peuvent avoir des actions spécifiques tout à fait indépendantes de celles produites en élevant la température des corps qui les absorbent.

Nos expériences ayant prouvé que la chaleur et les radiations infra-rouges produisent, dans quelques cas, des effets semblables sur certains sulfures phosphorescents, celui de calcium notamment, il était intéressant de rechercher à quelle température doivent être portés ces corps pour obtenir par leur échauffement des effets identiques à ceux obtenus à basse température avec les radiations infra-rouges. Rien n'est plus facile puisqu'il suffit de déterminer à quelle température du sulfure de calcium insolé depuis quelques jours et par conséquent obscur redevient lumineux. On y arrive en le mettant dans des tubes introduits dans un récipient plein d'eau contenant un thermomètre et qu'on chauffe progressivement dans l'obscurité. Le sulfure de calcium, insolé depuis huit jours, ne commence à briller que vers 60° et seulement au bout de 55 secondes, temps nécessaire pour son échauffement. Il devient, au contraire, instantanément lumineux, quand on l'expose à basse température à l'action de radiations infra-rouges.

On peut se proposer aussi de rechercher ce que l'infra-rouge est susceptible d'ôter de phosphorescence aux sulfures lumineux et voir ainsi son équivalent calorifique. On y arrive en introduisant dans un châssis photographique fermé par une feuille mince d'ébonite un écran de sulfure de calcium et l'exposant plusieurs heures au soleil ; il faut, pour lui rendre ensuite de la phosphorescence, le porter à une température un peu supérieure à 100°. Les grandes radiations agissant à la température ordinaire ont donc ôté à un corps phosphorescent toute la lumière résiduelle qu'il pourrait perdre en le chauffant à 100° environ.

§ 7. — LES RADIATIONS DES MÉTAUX ET DE DIVERS CORPS
NON PHOSPHORESCENTS.

A la phosphorescence invisible se rattachent en apparence — mais en apparence seulement — certaines impressions obtenues par les corps mis en contact dans l'obscurité avec une plaque photographique sensible. Lorsqu'on place dans un châssis photographique une plaque au gélatino-bromure sous une lame de métal — zinc, aluminium, platine, etc. — en interposant entre la lame et la plaque une croix faite avec diverses substances, on obtient généralement après quelques heures de pose au soleil ou devant une forte lampe à pétrole, une silhouette de l'objet interposé alors même qu'il est séparé du métal par une mince lame de mica.

Cette expérience et d'autres du même ordre qui me firent jadis perdre beaucoup de temps, réussissent très irrégulièrement, et, au bout de peu de jours, le même métal ne donne plus d'image.

Ces effets ne se rattachent nullement à la phosphorescence, mais à la radio-activité du métal et c'est pourquoi on l'augmente par une légère chaleur. L'absence d'action du métal — sa fatigue si on peut s'exprimer ainsi — s'observe également comme nous l'avons montré pour la décharge à l'électroscope. Elle tient à ce que le métal, ayant expulsé sous l'influence d'une légère chaleur une petite provision de substance radio-active qui ne peut se régénérer que par un long repos, devient inactif.

Ces influences radio-actives que je mélangeais au début de mes expériences avec celles de l'infra-rouge et de la phosphorescence invisible, me demandèrent de longues recherches pour être dissociées. De temps à autre des expérimentateurs divers retombent sur mes anciennes expériences et, comme

MM. Russell, Kahlbaum, Melander, etc., constatent de nouveau de semblables impressions. Leur cause étant déterminée, ces expériences ne présentent plus grand intérêt, c'est pourquoi je n'y insiste pas.

Il n'y a pas que les métaux seuls, ainsi que je l'ai

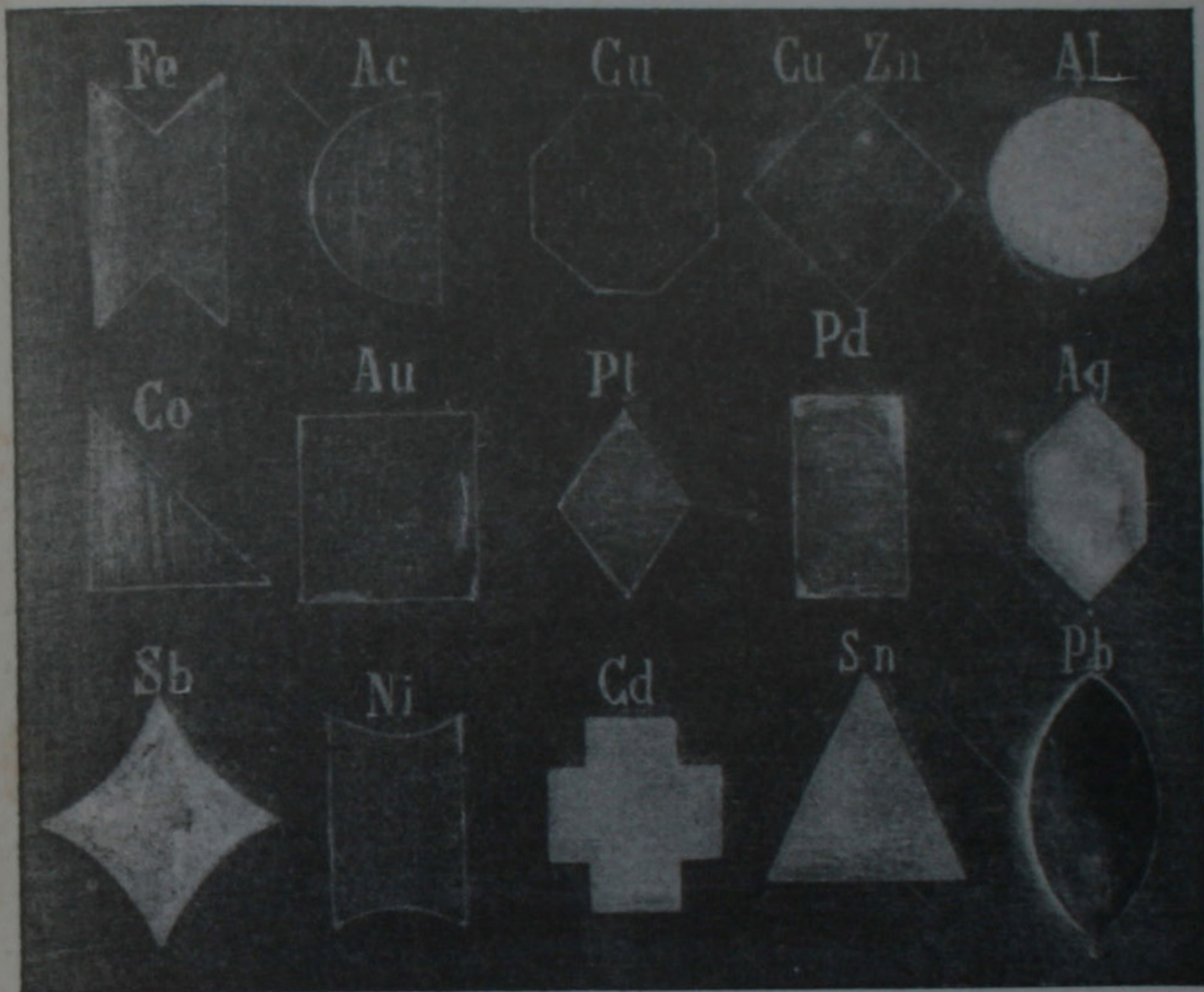


FIG. 29. — Plaque métallique épaisse percée de trous au-dessus desquels on a soudé les lames de divers métaux.

C'est avec cette plaque introduite dans un châssis photographique que furent faites en 1896 nos premières recherches sur les propriétés radioactives de divers métaux. La méthode photographique fut bientôt abandonnée parce que les impressions étaient très irrégulières, les métaux perdant bientôt pour les raisons que nous avons expliquées leurs propriétés.

fait voir depuis très longtemps, qui puissent donner de telles impressions; le bois, les tissus animaux, en produisent. Elles sont activées par une légère chaleur; mais il est évident que, pour ces substances diverses, certaines réactions chimiques peuvent également intervenir.

CHAPITRE II

L'infra-rouge et la photographie à travers les corps opaques.

§ 1. — LA VISIBILITÉ A TRAVERS LES CORPS OPAQUES.

Nous avons vu que la plus grande partie du spectre solaire était formée de rayons invisibles situés dans la région de l'infra-rouge et allant pour la lumière solaire jusqu'à 5μ , d'après les recherches de Langley. Le spectre des flammes, beaucoup plus prolongé, encore, s'étend jusqu'à 60μ .

Cette région si importante n'avait guère été étudiée jusqu'ici qu'au point de vue de ses propriétés calorifiques. Ayant découvert que le sulfure de zinc à phosphorescence verte est presque aussi sensible, pour une partie de ces radiations, que le gélatino-bromure d'argent pour la lumière visible, j'ai pu étudier leurs propriétés, notamment celle de traverser un grand nombre de corps opaques. Elles permettent la visibilité et la photographie à travers ces derniers. Ces phénomènes vont être étudiés maintenant, les autres actions de l'infra-rouge seront examinées dans un prochain chapitre.

Pour que l'œil puisse voir un objet placé derrière un corps supposé opaque, une planche de bois ou du papier noir, par exemple, il faut d'abord, évidemment, que les rayons le traversent. Il est ensuite

nécessaire que l'œil soit rendu sensible à ces rayons.

La première de ces conditions ayant toujours été considérée comme impossible, on ne pouvait songer à réaliser la seconde.

La découverte des rayons X a prouvé que les corps opaques peuvent bien être traversés par certaines radiations, mais les propriétés de ces radiations, créées artificiellement par nos instruments, ne pouvaient modifier les idées anciennes sur l'opacité des corps pour la lumière. La fable antique du lynx, dont les yeux étincelants voyaient à travers les murs, semblait devoir rester la plus irréalisable des chimères.

Elle ne l'est cependant pas. En poursuivant nos recherches sur l'ensemble des radiations désignées sous le nom de *Lumière noire*, nous avons été amené à constater : 1° que les rayons lumineux, ou du moins certains de ces rayons, traversent sans difficulté un grand nombre de corps opaques ; 2° que les rayons invisibles qui les ont traversés peuvent être rendus visibles facilement.

Si donc notre œil ne voit pas à travers les corps opaques, ce n'est nullement parce que des rayons lumineux ne les traversent pas, mais parce que notre rétine est insensible à ces rayons. Si l'œil du lynx ne jouit pas réellement de la propriété que lui accordaient les légendes, aucune raison scientifique ne s'opposerait à ce qu'il la possédât. Il serait très facile d'imaginer un œil, d'ailleurs assez peu différent du nôtre, celui des animaux nocturnes peut-être, ayant la faculté de voir à travers les corps opaques.

Les expériences qui vont suivre réalisent cet œil artificiel, sensible à des radiations invisibles pour la rétine humaine.

La détermination de la position occupée dans le spectre par les radiations capables de traverser les corps opaques se fait de la façon suivante :

Au moyen d'un héliostat et d'une lentille on condense un faisceau de lumière sur le collimateur d'un prisme à vision directe, et on reçoit le spectre dans l'obscurité, sur un écran de sulfure de zinc gradué en longueurs d'onde d'après la formule de dispersion du prisme employé. Cet écran a été préalablement sensibilisé par une courte exposition à la lumière. Après la sensibilisation et avant de faire agir le spectre sur l'écran, on recouvre une portion de la partie sur laquelle il doit tomber, avec une lame du corps opaque dont on veut étudier la transparence, une feuille de papier noir par exemple. En supprimant le spectre au bout d'un instant et déplaçant la lame opaque, on voit immédiatement, par le noircissement partiel de l'écran phosphorescent sous elle, la région du spectre qui l'a traversée. Elle s'étend de $0\mu,8$ à 3μ .

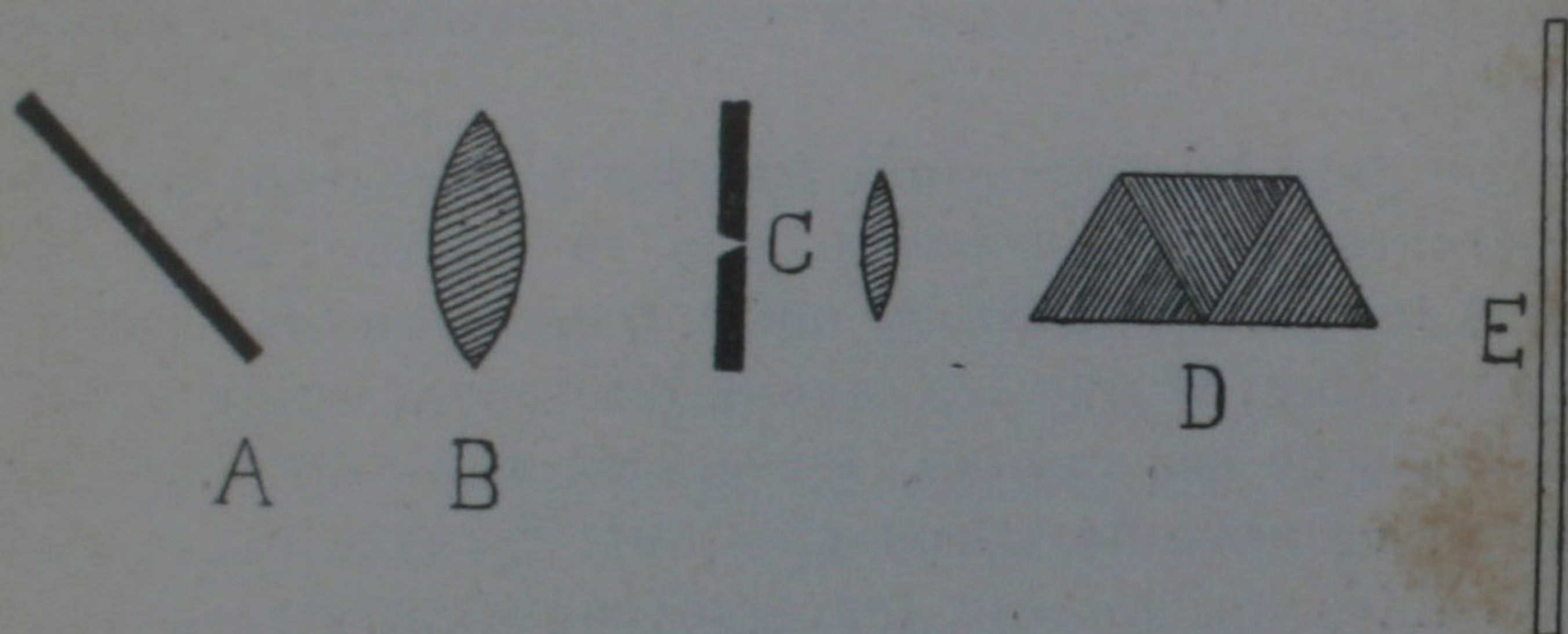


FIG. 30. — Disposition schématique de l'appareil employé pour déterminer les radiations qui traversent les corps opaques.

A. Miroir de l'héliostat qui immobilise les rayons solaires. B, Lentille condensant les rayons sur la fente C, du collimateur (son emploi est indispensable dans ces expériences). D, Prisme à vision directe. E, Écran enduit de sulfure de zinc et maintenu dans l'obscurité.

Voyons maintenant comment, en utilisant les propriétés de ces radiations, on peut rendre visible un corps enfermé dans une enceinte opaque.

Il suffit pour y arriver de suivre simplement les explications données sous la figure suivante. Au bout de quelques secondes, on voit l'objet enfermé dans une boîte se dessiner sur l'écran qui la recouvre.

La source lumineuse, dont les rayons traversent le corps opaque, est une lampe à pétrole entourée de papier noir. L'observateur se trouve donc dans une obscurité absolue, au milieu de laquelle appa-

raissent, sur l'écran, les objets que la boîte opaque contient.

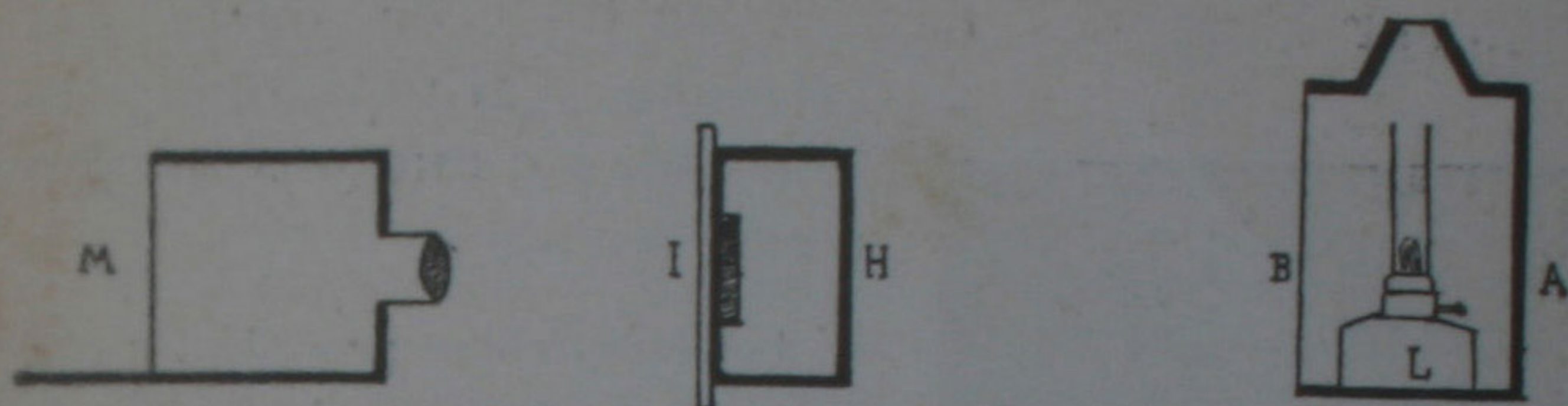


FIG. 31. — Disposition des appareils permettant la visibilité et la photographie à travers les corps opaques au moyen des radiations de grande longueur d'onde.

A, Lanterne en tôle entièrement close et dont la face B est fermée par une feuille de papier noir. L, Lampe à pétrole. H, Boîte opaque en papier noir ou ébonite, et contenant l'objet qu'il s'agit de rendre visible. I, Ecran translucide formé d'une couche mince de sulfure de zinc délayé dans du vernis et appliqué sur une lame de verre.

Tout le système précédent étant dans l'obscurité complète, l'écran I est sensibilisé en l'exposant à la lumière du jour pendant quelques secondes, puis placé derrière la boîte H. Au bout de quelques instants on voit se former à sa surface l'image de l'objet enfermé dans la boîte. On fixe cette image en appliquant l'écran I pendant 30 à 60 secondes sur une plaque photographique qu'on développe ensuite.

Si l'on désire photographier l'objet enfermé dans la boîte opaque, l'écran I est placé en M dans un châssis de chambre noire ordinaire muni d'un objectif à portrait. La mise au point doit être faite d'avance.

Des diverses expériences réalisables en opérant de la façon précédente, la plus frappante est celle de la visibilité d'un objet, clef, décoration, etc., enfermé dans une boîte. Cette dernière étant placée devant la lampe invisible on voit progressivement surgir de l'obscurité totale, où se trouve l'observateur, l'image de l'objet enfermé. En opérant avec des écrans translucides de grande dimension, l'effet est surprenant.

Les radiations lumineuses invisibles sont beaucoup moins pénétrantes que les rayons X et ne sauraient avoir aucunement la prétention de les remplacer.

A l'époque de mes premières expériences sur la photographie à travers les corps opaques, je ne connaissais pas encore la sensibilité du sulfure de zinc pour l'infra-rouge, et me servais de plaques photo-

graphiques rendues sensibles aux radiations de grande longueur d'onde par un voilage préalable. Les poses duraient alors des heures, au lieu de durer des secondes. J'ai reproduit plus loin (fig. 40) une des images alors obtenues.



FIG. 32. — Photographie à la chambre noire d'un objet (décoration) enfermé dans une boîte opaque. L'expérience est disposée comme il est indiqué fig. 31.

L'indice de réfraction des lentilles pour des radiations de grandes longueurs d'onde étant inconnu, il a fallu se contenter d'une mise au point approximative qui rend l'image peu nette. Cette photographie d'un objet enfermé dans une boîte opaque est la première qui ait été faite avec un objectif. Les rayons X ne se réfractant pas ne permettent pas, comme on le sait, de photographier à la chambre noire.

lique enfermée entre les deux feuilles de papier noir.

L'expérience qui précède est, d'ailleurs, celle à laquelle j'ai recours pour vérifier immédiatement la transparence des corps, papier noir, ébonite, etc., employés dans mes expériences et dont quelques échantillons sont opaques par suite des substances étrangères qu'ils renferment.

Les expériences précédentes exigeant un peu d'attention et quelques soins, j'ai cherché à les compléter par d'autres ne demandant qu'une somme infime d'attention et aucune installation.

La suivante permet de rendre visible en quelques secondes un corps enfermé dans une enceinte opaque.

On fixe une feuille de papier noir sur une plaque de verre et on colle à sa surface une croix découpée dans une lame mince d'étain. La croix est recouverte d'une seconde feuille de papier noir, ce qui fait qu'elle est emprisonnée entre deux feuilles de ce papier opaque. Il s'agit maintenant de la rendre visible.

Un écran de sulfure de zinc sur carton est illuminé à la lumière du jour, et sa surface appliquée contre la lame de verre couverte du papier noir qui précède. On expose la face recouvrant l'écran phosphorescent pendant dix secondes à 20 centimètres d'une lampe à pétrole. Le système est ensuite emporté dans un cabinet noir. Soulevant alors l'écran phosphorescent, on voit à sa surface l'image de la croix métal-

Le sulfure de zinc à phosphorescence verte étant rare dans le commerce, on peut à la rigueur, et uniquement pour la dernière des expériences précédentes, le remplacer par un écran de sulfure de calcium ; mais il est indispensable qu'il se soit écoulé au moins vingt-quatre heures entre le moment où cet écran a été exposé à la lumière du jour et celui où on fait l'expérience. Si on se servait d'un écran récemment insolé, et par conséquent très lumineux, on n'obtiendrait aucune image à sa surface¹.

§ 2. — LA PHOTOGRAPHIE A TRAVERS LES CORPS OPAQUES.

Il a déjà été expliqué plus haut (fig. 31) comment les objets enfermés dans des boîtes opaques pouvaient être photographiés. Nous allons maintenant varier ces expériences, en photographiant des objets extérieurs tels qu'une maison à travers un corps opaque.

On peut pour la réalisation des expériences qui vont suivre se servir de corps opaques très variés. Le plus commode est le vernis du Japon, qu'on coule sous une épaisseur de deux ou trois millimètres sur l'obturateur mobile d'un objectif dont le fond est remplacé par une lamelle de mica fixée latéralement à la colle forte. Lorsque le vernis est sec on constate en l'interposant entre le soleil et l'œil qu'il semble absolument opaque. On met au point l'objet à reproduire avec la glace dépolie de la chambre noire et on place l'obturateur devant l'objectif. Il constitue ainsi un corps opaque placé entre la lumière et la glace dépolie.

On illumine alors un écran de sulfure de zinc à la lumière du jour et on le met dans le châssis habituel de la chambre noire comme une plaque photographique ordinaire. Soulevant ensuite comme d'habitude le volet du châssis, on le laisse ouvert devant l'objet à reproduire un temps variable suivant l'éclairage. La photographie donnée ici (fig. 33) est celle d'une maison éclairée par le soleil ; l'objectif employé était une lentille à portrait. La pose a duré une minute.

1. A l'époque où ces expériences furent publiées pour la première fois, j'ai distribué le petit matériel permettant de les répéter à tous les savants qui me l'ont demandé. Voici ce que m'écrivit un professeur de physique distingué, M. Izarn : « Je me suis empressé de faire l'expérience avec les matériaux que vous avez bien voulu m'envoyer et j'ai été stupéfait de la netteté des résultats. Je n'aurais jamais cru que ce fût si évident et surtout si rapide. » Il faut avouer cependant que la majorité des physiciens a préféré nier l'exactitude de mes expériences que de les répéter. D'autres les ont essayées en s'éclairant avec une lampe rouge de photographe qui éteint instantanément la phosphorescence du sulfure de zinc, et, naturellement, ils n'ont rien pu observer.

graphiques rendues sensibles aux radiations de grande longueur d'onde par un voilage préalable. Les poses duraient alors des heures, au lieu de durer des secondes. J'ai reproduit plus loin (fig. 40) une des images alors obtenues.

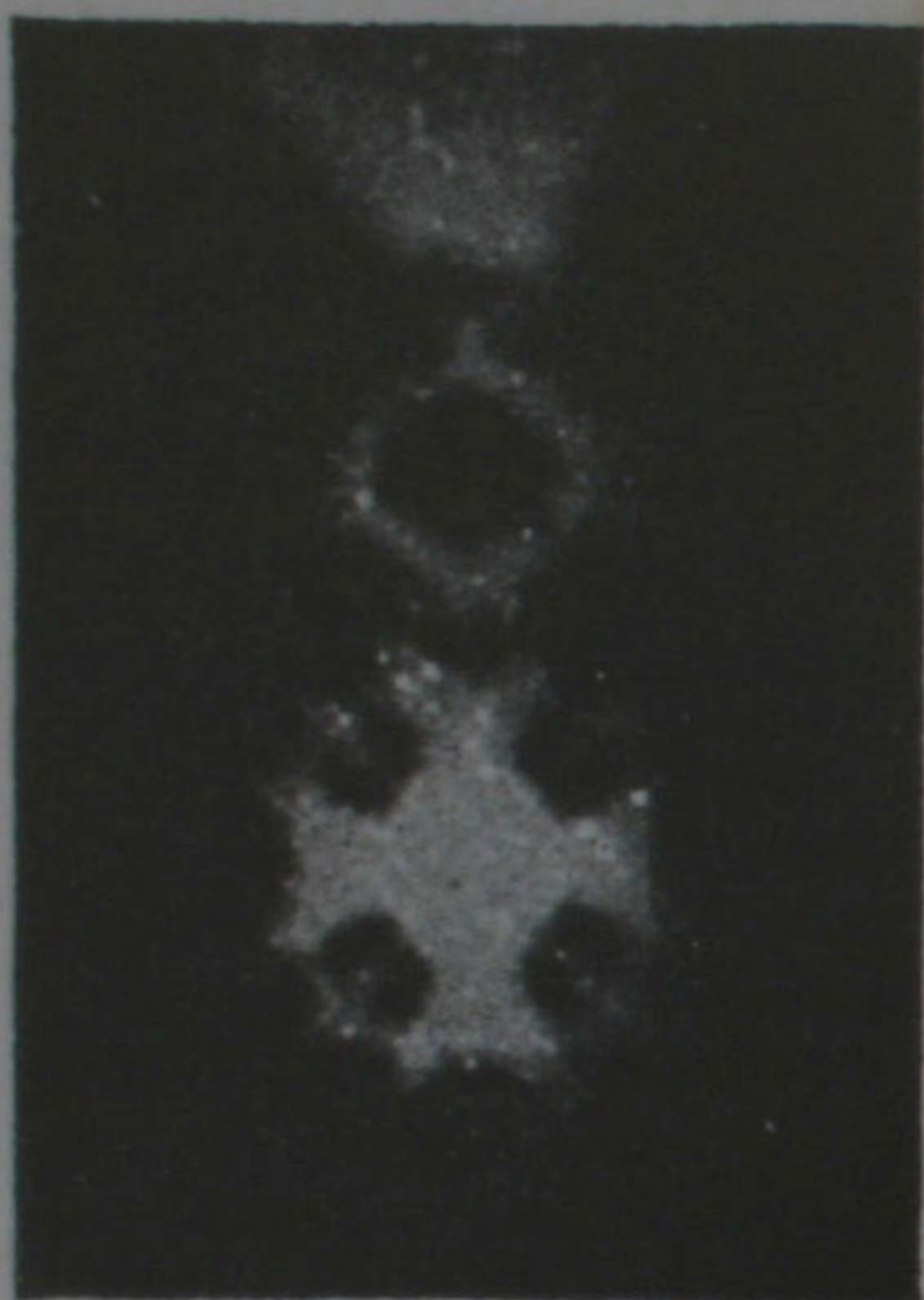


FIG. 32. — Photographie à la chambre noire d'un objet (décoration) enfermé dans une boîte opaque. L'expérience est disposée comme il est indiqué fig. 31.

L'indice de réfraction des lentilles pour des radiations de grandes longueurs d'onde étant inconnu, il a fallu se contenter d'une mise au point approximative qui rend l'image peu nette. Cette photographie d'un objet enfermé dans une boîte opaque est la première qui ait été faite avec un objectif. Les rayons X ne se réfractant pas ne permettent pas, comme on le sait, de photographier à la chambre noire.

lique enfermée entre les deux feuilles de papier noir.

L'expérience qui précède est, d'ailleurs, celle à laquelle j'ai recours pour vérifier immédiatement la transparence des corps, papier noir, ébonite, etc., employés dans mes expériences et dont quelques échantillons sont opaques par suite des substances étrangères qu'ils renferment.

Les expériences précédentes exigeant un peu d'attention et quelques soins, j'ai cherché à les compléter par d'autres ne demandant qu'une somme infime d'attention et aucune installation.

La suivante permet de rendre visible en quelques secondes un corps enfermé dans une enceinte opaque.

On fixe une feuille de papier noir sur une plaque de verre et on colle à sa surface une croix découpée dans une lame mince d'étain. La croix est recouverte d'une seconde feuille de papier noir, ce qui fait qu'elle est emprisonnée entre deux feuilles de ce papier opaque. Il s'agit maintenant de la rendre visible.

Un écran de sulfure de zinc sur carton est illuminé à la lumière du jour, et sa surface appliquée contre la lame de verre couverte du papier noir qui précède. On expose la face recouvrant l'écran phosphorescent pendant dix secondes à 20 centimètres d'une lampe à pétrole. Le système est ensuite emporté dans un cabinet noir. Soulevant alors l'écran phosphorescent, on voit à sa surface l'image de la croix métal-

Le sulfure de zinc à phosphorescence verte étant rare dans le commerce, on peut à la rigueur, et uniquement pour la dernière des expériences précédentes, le remplacer par un écran de sulfure de calcium ; mais il est indispensable qu'il se soit écoulé au moins vingt-quatre heures entre le moment où cet écran a été exposé à la lumière du jour et celui où on fait l'expérience. Si on se servait d'un écran récemment insolé, et par conséquent très lumineux, on n'obtiendrait aucune image à sa surface¹.

§ 2. — LA PHOTOGRAPHIE A TRAVERS LES CORPS OPAQUES.

Il a déjà été expliqué plus haut (fig. 31) comment les objets enfermés dans des boîtes opaques pouvaient être photographiés. Nous allons maintenant varier ces expériences, en photographiant des objets extérieurs tels qu'une maison à travers un corps opaque.

On peut pour la réalisation des expériences qui vont suivre se servir de corps opaques très variés. Le plus commode est le vernis du Japon, qu'on coule sous une épaisseur de deux ou trois millimètres sur l'obturateur mobile d'un objectif dont le fond est remplacé par une lamelle de mica fixée latéralement à la colle forte. Lorsque le vernis est sec on constate en l'interposant entre le soleil et l'œil qu'il semble absolument opaque. On met au point l'objet à reproduire avec la glace dépolie de la chambre noire et on place l'obturateur devant l'objectif. Il constitue ainsi un corps opaque placé entre la lumière et la glace dépolie.

On illumine alors un écran de sulfure de zinc à la lumière du jour et on le met dans le châssis habituel de la chambre noire comme une plaque photographique ordinaire. Soulevant ensuite comme d'habitude le volet du châssis, on le laisse ouvert devant l'objet à reproduire un temps variable suivant l'éclairage. La photographie donnée ici (fig. 33) est celle d'une maison éclairée par le soleil ; l'objectif employé était une lentille à portrait. La pose a duré une minute.

1. A l'époque où ces expériences furent publiées pour la première fois, j'ai distribué le petit matériel permettant de les répéter à tous les savants qui me l'ont demandé. Voici ce que m'écrivit un professeur de physique distingué, M. Izarn : « Je me suis empressé de faire l'expérience avec les matériaux que vous avez bien voulu m'envoyer et j'ai été stupéfait de la netteté des résultats. Je n'aurais jamais cru que ce fût si évident et surtout si rapide. » Il faut avouer cependant que la majorité des physiciens a préféré nier l'exactitude de mes expériences que de les répéter. D'autres les ont essayées en s'éclairant avec une lampe rouge de photographe qui éteint instantanément la phosphorescence du sulfure de zinc, et, naturellement, ils n'ont rien pu observer.

La pose étant terminée, le châssis est fermé et porté dans le cabinet noir d'où on a eu soin d'éliminer toute lumière et surtout de la lumière rouge. En ouvrant le châssis, on voit à sa surface l'image de l'objet qui se trouvait devant l'objectif. Pour la fixer on applique, en restant toujours dans l'obscurité, l'écran phosphorescent pendant cinq minutes contre la surface d'une plaque au gélatino-bromure qu'on développe ensuite par les moyens ordi-



FIG. 33. — Photographie d'une maison à travers un corps opaque.

Le défaut de netteté tient : 1° à ce que la mise au point pour de grandes longueurs d'onde ne peut se faire que par le calcul et d'une façon approximative; 2° à ce que l'écran phosphorescent employé comme plaque sensible avait une surface un peu rugueuse.

naires. On a alors une image visible obtenue en employant les rayons invisibles de la lumière. Je donne ici (fig. 33) une des images ainsi obtenues.

J'ai dit plus haut qu'il était possible d'employer comme corps opaque des substances très différentes, mais il faut remarquer qu'avec une lame dépolie on n'aurait pas plus d'image qu'en plaçant un verre dépoli transparent devant un objectif. Les corps dépolis jouent comme on le sait le rôle d'écrans diffuseurs. Si donc on vou-

lait employer comme corps opaque une matière dépolie ou mal polie, il faudrait, au lieu de la placer devant l'objectif, la mettre immédiatement devant l'écran phosphorescent, c'est-à-dire en contact avec lui.

Il serait inutile d'essayer de répéter les expériences précédentes avec du sulfure de calcium. Ce corps est si peu sensible aux radiations de grande longueur d'onde qu'avec une heure de pose on n'obtiendrait pas d'image.

Quelques-unes des expériences dont il vient d'être parlé, c'est-à-dire celles où l'objet à reproduire est enfermé dans une boîte opaque interposée entre l'écran de sulfure de zinc et la source lumineuse, réussissent aussi bien à la lumière d'une lampe à pétrole ou même d'une simple bougie qu'à celle du soleil. Cela ne résulte pas seulement, comme on pourrait le supposer, de la richesse en rayons infra-rouges des sources artificielles de lumière. Cela tient surtout à ce que l'éclat des objets éclairés par réflexion, cas de tous ceux examinés à la lumière du jour, est immensément moindre que celui de la source qui les éclaire. Un objet très rapproché d'une



FIG. 34. — Photographie à la chambre noire d'un dessin imprimé mis dans une enveloppe en papier noir, enfermée elle-même dans une boîte d'ébonite.

La source lumineuse était une lampe à pétrole entourée de papier noir. Les bandes croisées représentent les bords superposés de l'enveloppe de papier noir. Ils n'ont pas été traversés parce qu'on n'a pas prolongé la pose.

L'image produite sur un écran de sulfure de zinc a été transformée en cliché photographique en mettant l'écran en contact avec une plaque au gélatino-bromure pendant 5 minutes et la développant ensuite.

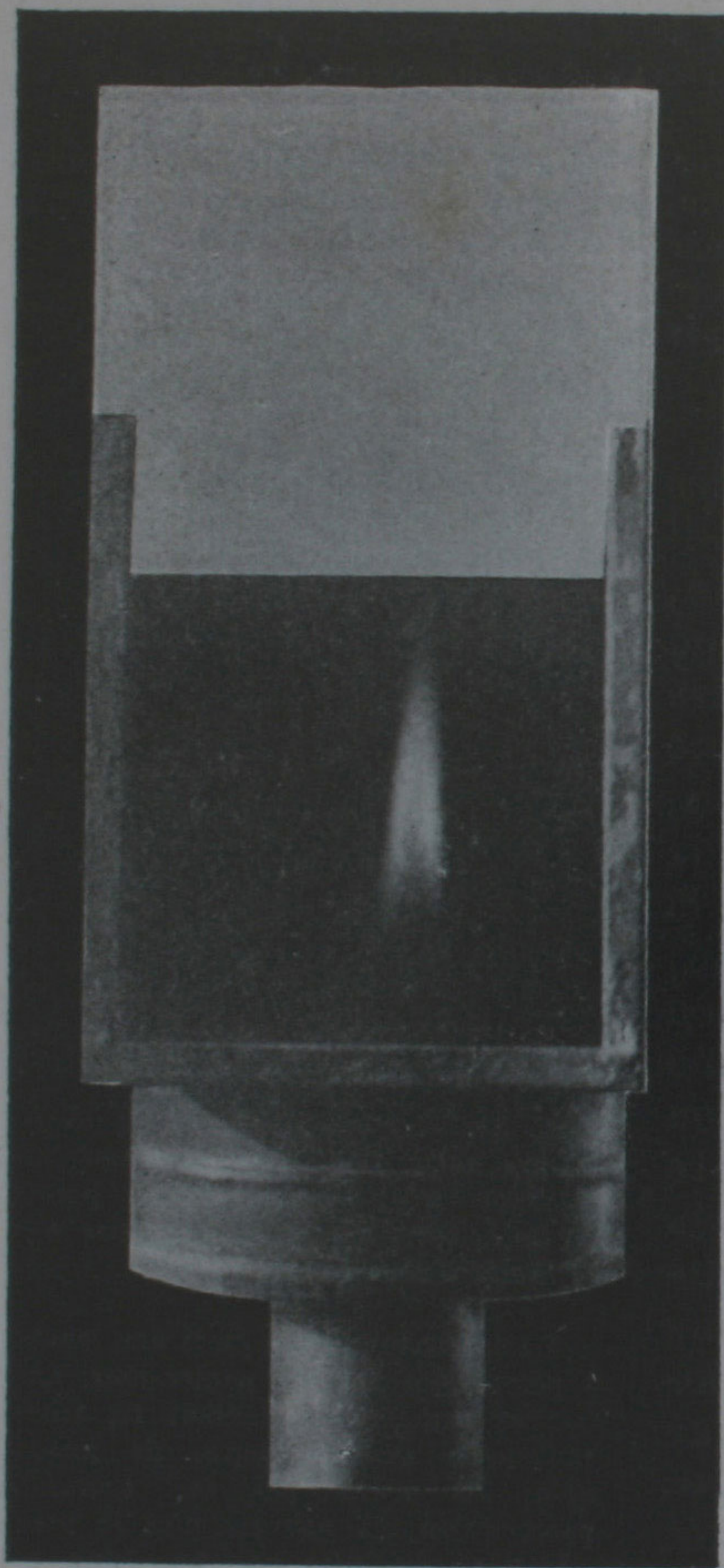


FIG. 35. — *Comparaison de l'éclat d'une bougie avec celui d'une surface blanche éclairée directement par un brillant soleil d'été.*

Cette photographie instantanée montre que l'éclat d'une bougie est supérieur à celui de la lumière réfléchiée par la surface blanche que les rayons solaires frappent directement.

bougie est peu lumineux, mais la flamme de la bougie elle-même est extrêmement lumineuse. Son éclat est supérieur à celui d'un mur blanc éclairé par le soleil, au mois d'août, en plein midi. On le démontre en mettant la bougie contre le mur; sa flamme est plus brillante que ce dernier.

Le fait que l'éclat d'une simple bougie ou même d'une modeste allumette soit plus intense que celui d'un objet éclairé par le soleil ayant semblé inadmissible à beaucoup de personnes, j'ai fait (fig. 35) des photographies instantanées d'une bougie enfermée dans une lanterne

l'enveloppant presque entièrement et au-dessus de laquelle était un carton blanc éclairé par le soleil. Au développement, on reconnaît que l'image de la bougie est plus intense que celle du carton.

Cette intensité des sources lumineuses, malgré leur faible pouvoir éclairant, peut être montrée encore en photographiant intantamment, la nuit, une rue éclairée par des becs de gaz. Aucun des objets éclairés n'apparaîtra sur la photographie, mais tous les becs de gaz seront reproduits.

Ces observations permettront de comprendre plus facilement les expériences qui vont suivre, relatives à la photographie instantanée dans l'obscurité à travers des corps opaques.

§ 3. — LA PHOTOGRAPHIE INSTANTANÉE DANS L'OBSCURITÉ.

L'expérience que nous allons exposer permet de photographier en $1/30^{\text{e}}$ de seconde l'image d'une source lumineuse (bougie enfermée dans une boîte opaque), l'observateur se trouvant lui-même dans une obscurité complète.

Avec une chambre noire munie d'un objectif à grande ouverture et d'un obturateur dit instantané, on met au point sur la glace dépolie — de façon à avoir une image à peu près de grandeur égale — la flamme d'une bougie ou d'une petite lampe à pétrole enfermée dans une lanterne photographique de laboratoire. La lanterne est fermée ensuite avec le corps opaque choisi, verre noir, ébonite ou vernis japonais emprisonné entre deux lames de verre. L'observateur se trouve par conséquent dans une obscurité complète. On introduit alors dans le châssis de la chambre noire un écran de sulfure de zinc illuminé à la lumière du jour et on démasque l'objectif pendant un trentième de seconde. En ouvrant ensuite le châssis dans l'obscurité, on voit à sa surface l'image de la source lumineuse, que l'on conserve en l'appliquant contre une plaque photographique. La photographie représentée (fig. 37) a été obtenue de cette façon.

Si l'observateur tenait à voir l'image se former sous ses yeux, il n'aurait qu'à se servir d'un des écrans transparents sur verre

dont j'ai déjà parlé et ouvrir le volet postérieur du châssis de la chambre noire, de façon à pouvoir observer ce qui se passe sur l'écran pendant la pose. Ce dernier est assez transparent pour qu'on puisse voir sur sa face postérieure l'image formée sur sa face antérieure.

Cette expérience montre l'étonnante sensibilité du sulfure de zinc à phosphorescence verte pour les radiations de grande lon-

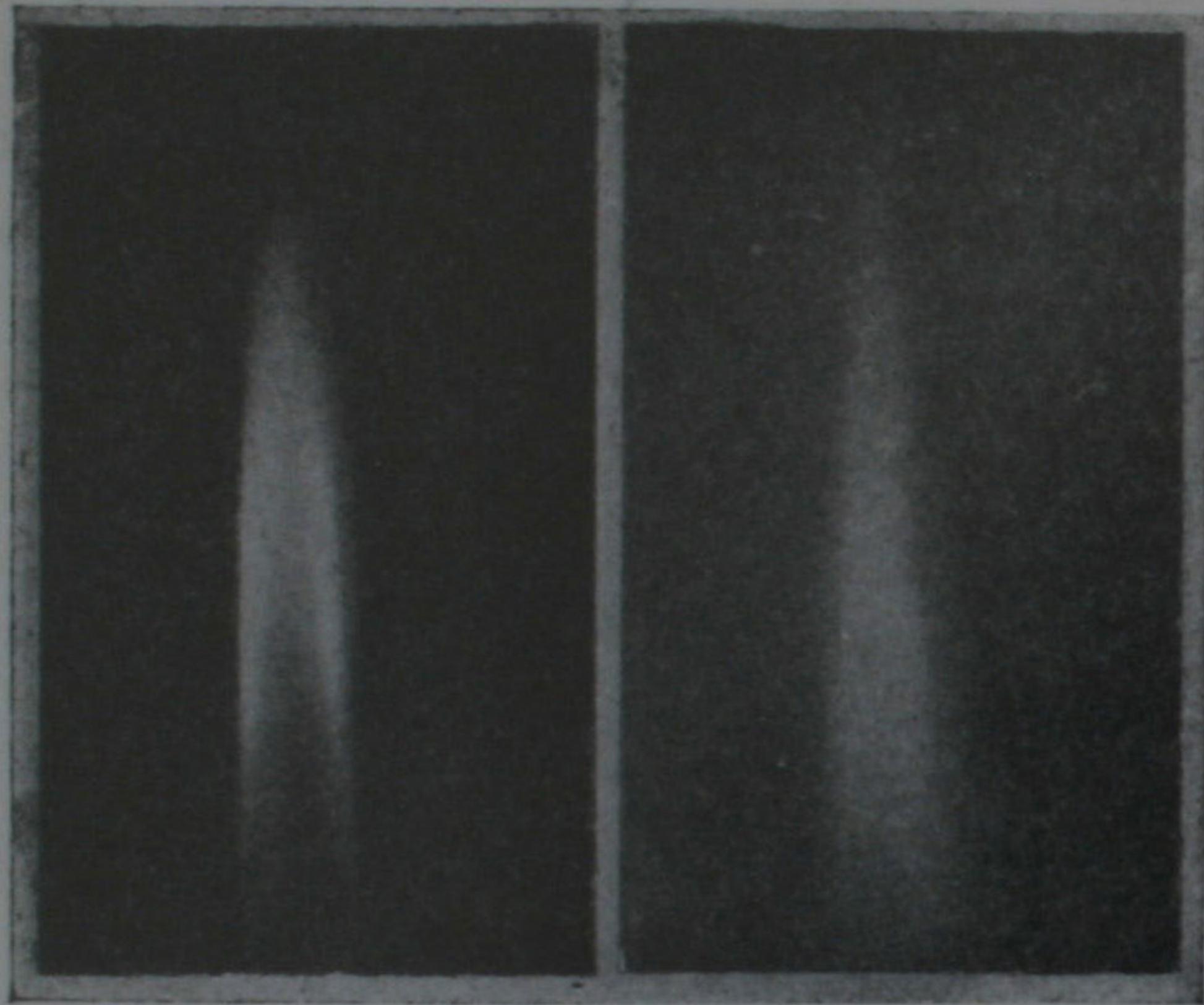


FIG. 36 et 37. — Photographie instantanée d'une bougie à travers un corps opaque.

La figure de gauche représente une bougie ordinaire photographiée sur plaque au gélatino-bromure sans interposition d'écran. La figure de droite représente la même bougie photographiée à travers un corps opaque en 1,30^e de seconde.

gueur d'onde, sensibilité se rapprochant de celle du gélatino-bromure pour les radiations visibles.

Le sulfure de calcium ne permettrait pas du tout de réaliser l'expérience précédente. Le sulfure de zinc à phosphorescence jaune ou rouge ne le permettrait pas davantage.

§ 4. — TRANSPARENCE DES DIVERS CORPS POUR LES RADIATIONS INFRA-ROUGES.

La transparence des corps pour les radiations de grande longueur d'onde n'est jamais totale pour un même corps. Ce que l'on constate pour le spectre

visible est également vrai pour le spectre invisible. La transparence est toujours sélective pour chaque substance. Les bandes de transparence sont toujours voisines de bandes d'opacité.

Il aurait été sans grand intérêt et extrêmement long de déterminer les régions transparentes pour chaque corps étudié. Ce que nous donnons ici, c'est la transparence en bloc. La région transparente qui peut être déterminée avec les sulfures va depuis l'extrémité du spectre visible, c'est-à-dire $0^{\mu},8$ jusqu'aux environs de 3μ .

D'une façon générale, les radiations infra-rouges sont plus pénétrantes que celles du spectre visible. Bien que ce ne soit pas du tout une loi constante, on constate que la transparence semble diminuer à mesure que se réduit la longueur d'onde. La lumière est d'autant moins pénétrante qu'on avance vers l'ultra-violet. A l'extrémité de cette dernière région, tous les corps, même une lame de verre de $1/10^e$ de millimètre d'épaisseur, deviennent opaques, et pour les longueurs d'onde de $0^{\mu},1$, les plus petites observées, une couche d'air de 1 centimètre est opaque comme du plomb.

Mais, je le répète, cette loi n'a rien d'absolu. La transparence dépend aussi de la structure des corps traversés. Il y en a de très opaques pour les grandes longueurs d'onde. Ainsi l'atmosphère absorbe toutes radiations supérieures à 5μ , et c'est pourquoi ces dernières n'existent pas dans le spectre solaire. Les radiations de grandeur supérieure, c'est-à-dire de 5μ à 60μ ne s'observent que dans les flammes, et la plupart des corps jouissent pour elles d'une transparence assez faible. Les ondes hertziennes, supposées analogues à la lumière, mais dont la longueur n'est pas inférieure à quelques millimètres, traversent, au contraire, facilement des corps que les grandes ondes lumineuses ne pénètrent pas.

Les corps chauffés à une température peu élevée, c'est-à-dire ne dépassant pas 100 degrés, émettent des ondes dont la longueur n'est guère inférieure à 5 ou 6 μ . Elles sont fort peu pénétrantes; aussi Melloni avait observé dans ses expériences ce fait, inexplicable à son époque, que des corps transparents, comme le verre ou le quartz, étaient opaques pour les ondes émises par un corps chauffé à 100 degrés.

On utilise, comme on le sait, cette opacité dans les serres de verre ou les cloches de même substance qui abritent certaines plantes. Les vibrations lumineuses visibles traversant très bien le verre, échauffent les corps placés derrière lui. Ces derniers deviennent aussitôt une source de chaleur rayonnante; mais, vu leur longueur, les ondes émises ne peuvent traverser le verre et sortir de la serre. Elles y sont donc emprisonnées, et les plantes ne se refroidissent pas.

Les radiations de grande longueur d'onde semblent n'agir sur les écrans phosphorescents que jusqu'aux environs de 3 μ . Ils peuvent, en réalité, être impressionnés beaucoup plus loin, c'est-à-dire jusqu'à 6 μ et au delà, mais par un mode d'action très différent de celui utilisé jusqu'ici. Les rayons n'agissant plus alors que par leurs propriétés thermiques, leur action ne se manifeste qu'au bout d'une trentaine de secondes. On observe l'effet produit en protégeant une partie de l'écran par une lame de verre — opaque à ces radiations — afin d'avoir une plage de comparaison. Un écran de sulfure de zinc peu lumineux, exposé pendant 30 secondes aux radiations émises par un corps chauffé à 50 degrés, est légèrement impressionné. Les radiations agissent alors, je le répète, par leur action thermique et non par leur action spécifique sur la phosphorescence utilisée dans les expériences précédentes.

Notre méthode d'observation de la transparence des corps au moyen de la phosphorescence est très simple. Sur une moitié de

l'écran de sulfure de zinc sur verre (et par conséquent transparent) on place le corps servant d'unité de comparaison, une lame d'ébonite de 1 millimètre d'épaisseur, par exemple, et sur l'autre, le corps opaque dont on veut connaître la transparence relative.

On se met ensuite à une distance fixe d'une lampe à pétrole placée dans un cabinet noir. L'écran de sulfure de zinc ayant été insolé au jour on protège sa surface par une lame métallique et quand on se trouve à la distance convenable de la lampe, 1 mètre par exemple, la moitié non recouverte d'ébonite est démasquée, puis on laisse agir la lumière pendant un temps déterminé, cinq secondes je suppose. Masquant alors cette partie et démasquant celle recouvrant le corps opaque dont on veut connaître la transparence, on laisse agir les rayons lumineux jusqu'à ce que l'intensité des deux plages soit la même. S'il fallut vingt secondes pour obtenir cette identité, on en conclura que le corps essayé est quatre fois moins transparent que l'ébonite prise pour type.

Les sulfures phosphorescents accumulant les impressions, la transparence devient une fonction du temps. Il faut donc la rapporter au temps. C'est ce que fait la méthode qui vient d'être indiquée.

Tableau de la transparence des divers corps opaques pour les radiations invisibles ne dépassant pas 3μ .

Vernis noir du Japon. Même sous une épaisseur de 1 centimètre est transparent au point que les rayons le traversant impressionnent l'écran phosphorescent en deux secondes.

Ébonite pure. Presque aussi transparente même sous une épaisseur de 1 centimètre.

Ébonite de 1/2 millimètre d'épaisseur, contenant 1 % de noir de fumée ou des oxydes métalliques (comme on la trouve parfois dans le commerce). Presque complètement opaque.

Papier noir. Très transparent, mais moitié moins que l'ébonite pure.

Phosphore rouge en plaques de 1 centimètre d'épaisseur. Aussi transparent que l'ébonite.

Bois, pierre, marbre, carton gris, drap noir. Transparents, mais beaucoup moins que l'ébonite.

Verres de couleurs. Tous très transparents, mais le rouge est celui qui l'est le moins et l'orangé celui qui l'est le plus pour l'infra-rouge.

Brome et iode. Plus transparents encore que l'ébonite.

Chlorure d'argent fondu. Coulé en lame sous une épaisseur de 1 millimètre. Un peu moins transparent que l'ébonite.

Antimoine, noir de fumée, arsenic. Très opaques.

Sulfate de cuivre ammoniacal, bichromate de potasse en solution saturée, humeur vitrée, alun, placés dans des cuves de 1 centimètre d'épaisseur. Transparents, mais moins que l'ébonite.

Solution saturée de sulfate de fer sous une épaisseur de 1 centimètre. Quatre fois moins transparente que l'ébonite.

Ce qui précède montre des corps jadis considérés comme opaques pour les radiations infra-rouges, tels que l'alun, le papier noir, l'humeur vitrée, etc., jouissant au contraire d'une grande transparence.

Lorsqu'on désire comparer très rapidement la transparence relative de certains corps, le procédé suivant peut être employé : on découpe les substances à examiner en bandes, on les fixe sur une lame de verre placée ensuite sur un écran phosphorescent de sulfure de zinc illuminé. On expose pendant trois ou quatre secondes aux radiations d'une lampe à pétrole et on examine la plaque dans l'obscurité. Plus la teinte du sulfure est foncée sous les bandes, plus le corps essayé est transparent.

La méthode précédente de comparaison de la transparence de diverses substances est très exacte et très simple, puisque, étant comparative, elle est indépendante de la distance à la lampe et de l'intensité de la flamme.

Elle trouvera plus d'une application. Son emploi m'a permis de constater les variations considérables, suivant l'état de l'atmosphère, qu'éprouve la lumière invisible versée par le soleil et qui constitue une grande partie de son énergie.

De tous les corps énumérés plus haut, celui qui s'est montré le plus opaque est le noir de fumée, ou les substances en contenant. Lorsque le papier noir et l'ébonite en renferment — ce qui arrive quelquefois — ils deviennent aussitôt opaques. Avant de s'en servir pour des expériences, il est donc essentiel d'examiner leur transparence, ce qui ne demande que quelques secondes.

L'opacité du noir de fumée permet de réaliser facilement l'expérience suivante, paradoxale au premier abord : reproduire soit par contact, soit avec l'objectif photographique un dessin imprimé mis dans une enveloppe de papier noir, introduite elle-même dans une boîte d'ébonite. L'encre d'impression contenant du noir de fumée n'est pas traversée et forme réserve. Je donne (fig. 34) une photographie ainsi obtenue.

Cette opacité du noir de fumée, mise en évidence dans l'expérience précédente, est contraire à ce qui s'enseigne dans les ouvrages de physique récents. Dans leur *Traité de Physique* (t. III, 2^e fascicule, p. 90), Bouty et Jamin disent que « si l'on noircit avec du noir de fumée, le verre, la fluorine et le sel, ils

éteignent toute lumière mais laissent passer la *totalité* des radiations obscures que ces mêmes substances transmettaient ». Le noir de fumée en laisse passer, mais non leur totalité puisqu'il arrête toutes celles comprises entre $0^{\mu},8$ et 3μ . Nous avons plusieurs fois répété que, dans le spectre visible, comme dans le spectre invisible, la transparence est toujours sélective, c'est-à-dire qu'un corps opaque est, comme un verre coloré, transparent seulement pour certaines radiations.

§ 5. — UTILISATION DES RAYONS INVISIBLES POUR RENDRE VISIBLES A GRANDE DISTANCE DES CORPS OBSCURS.

Lorsque je publiai pour la première fois quelques-unes des expériences relatées dans ce chapitre, M. le Ministre de la Marine de cette époque me fit demander s'il ne serait pas possible de masquer avec un corps opaque les feux d'un vaisseau de guerre ou d'un phare, de façon à les rendre invisibles pour l'ennemi, et visibles cependant pour les vaisseaux amis munis d'appareils convenables.

La solution du problème était assez simple. Elle perd de son intérêt maintenant que les progrès de la télégraphie sans fil permettent les communications entre vaisseaux éloignés, c'est pourquoi je crois pouvoir publier le détail de mes expériences. Généralisant le problème, j'ai recherché si un bâtiment ne pourrait pas projeter sur une rade, une forteresse ou une ville assiégée, des rayons de lumière, invisibles pour les assiégés, visibles pour les assiégeants, et permettant de diriger un tir précis sur l'ennemi tout en restant invisible soi-même.

Soit donc à résoudre le problème suivant :

Rendre visible sans le rendre lumineux un corps obscur quelconque, par exemple un bâtiment ayant éteint ses feux ou l'entrée d'une rade obscure.

Considérons tout d'abord que, quand nous projetons sur un corps obscur un faisceau de lumière visible, ce corps n'est rendu perceptible que par les rayons

qu'il réfléchit. Nous savons, d'un autre côté, que les 99 centièmes environ des radiations projetées par les meilleures sources lumineuses sont tout à fait invisibles et, par suite, inutilisées. Donc, en trouvant le moyen de séparer les radiations visibles des radiations invisibles, nous n'aurons privé notre source de lumière que de 1 pour 100 de son émission totale. Il en restera par conséquent la plus grande partie.

Les écrans cités plus haut jouissent précisément de la propriété d'éliminer les rayons visibles et de laisser passer les rayons invisibles. Si l'on projette sur un corps obscur un faisceau de cette lumière invisible, ce dernier les réfléchira tout comme il eût réfléchi de la lumière ordinaire. Il serait donc lumineux pour un œil capable de percevoir les radiations invisibles réfléchies par lui. Cet œil n'existe pas, mais un écran de sulfure de zinc phosphorescent va le remplacer.

A la place de la glace dépolie d'une chambre noire munie d'un objectif à court foyer capable d'embrasser par conséquent une grande étendue de l'horizon, exposons un écran de sulfure de zinc préalablement rendu phosphorescent au moyen d'un ruban de magnésium ou par les rayons X d'une ampoule de Crookes, on verra alors apparaître sur sa surface l'image des corps obscurs sur lesquels aura été projeté un faisceau de radiations invisibles.

Cette lumière invisible proviendra simplement de la réflexion de celle envoyée par le projecteur électrique possédé par tous les vaisseaux de guerre et dont nous aurons masqué les rayons visibles au moyen d'une lame opaque.

Cette lame ne peut être fabriquée ni avec de l'ébonite, ni avec du papier noir, précédemment employés, parce qu'ils seraient promptement détruits par la chaleur. Le seul corps utilisable est du verre noir dont il existe des variétés assez opaques pour ne pas laisser voir le disque du soleil quand on les interpose

entre cet astre et l'œil. Il s'en faut de beaucoup que tous les verres noirs soient transparents pour les radiations invisibles, mais on en trouve assez facilement dans le commerce. Il suffirait, avant d'en faire usage, d'essayer leur transparence par le moyen que j'ai indiqué et qui demande quelques minutes seulement. Avec des verres bien choisis la transparence est la même que celle de l'ébonite.

Toutes les expériences consignées dans ce chapitre reposent sur l'emploi de corps sensibles aux radiations de grande longueur d'onde, mais, cette sensibilité n'existe que pour des radiations ne dépassant guère 3μ . Or, celles émises par les corps à température relativement basse, le corps humain par exemple, sont beaucoup plus longues et n'impressionnent pas les matières phosphorescentes. Si l'on découvrait un corps sensible à ces radiations, rien ne serait plus facile que de photographier un être vivant dans l'obscurité sans autre source lumineuse que la lumière invisible émise par lui constamment.

Jusqu'au zéro absolu, tous les corps rayonnent sans cesse, en effet, comme nous l'avons vu, des ondes de lumière invisibles pour notre œil, mais perceptibles probablement par les animaux dits nocturnes capables de se guider dans l'obscurité.

Pour eux, le corps d'un être vivant dont la température est d'environ 37 degrés, doit être entouré d'une auréole lumineuse que seul le défaut de sensibilité de notre œil empêche d'apercevoir. Il n'existe pas, en réalité, de corps obscurs dans la nature, il existe seulement des yeux imparfaits. Un corps quelconque est une source constante de radiations visibles ou invisibles, mais qui sont toujours de la lumière.

CHAPITRE III

Rôle des diverses radiations lumineuses dans les phénomènes de la vie.

§ I. — LE RÔLE DE LA LUMIÈRE DANS LES PHÉNOMÈNES DE LA VIE.

L'infra-rouge invisible formant la plus grande partie du spectre solaire, on peut supposer qu'il joue un rôle considérable en météorologie et en physiologie végétale. Ses propriétés sont fort peu connues. On n'a examiné jusqu'ici que ses actions calorifiques, observées depuis longtemps, et son pouvoir de traverser un grand nombre de corps opaques mis en évidence par nos recherches.

Nous avons songé à étudier quelques-unes des actions physiologiques de l'infra-rouge, c'est-à-dire son rôle dans la vie végétale et à rechercher notamment s'il n'exercerait pas quelques-uns de ces effets antagonistes constatés dans l'étude de la phosphorescence et qui seront étudiés en détail dans le prochain chapitre. Faute de matériel, je n'ai pu pousser très loin ces recherches.

On sait que la lumière visible exerce dans la vie des végétaux deux actions opposées, l'une d'oxydation ou fonction respiratoire, l'autre de réduction ou fonction chlorophyllienne.

La première peut s'accomplir dans l'obscurité. Par

elle, la plante absorbe, comme les animaux, de l'oxygène, et exhale de l'acide carbonique.

La fonction chlorophyllienne, inverse de la précédente, ne s'exerce au contraire qu'à la lumière visible et n'est due qu'à son absorption. Grâce à elle, la plante décompose l'acide carbonique et fixe son carbone dans ses tissus. L'énergie lumineuse emmagasinée par la chlorophylle permettra au protoplasma de la plante de transformer les substances minérales en produits organisés, compliqués, chargés d'énergie, sans lesquels la vie des animaux supérieurs serait impossible. Les végétaux établissent ainsi une relation permanente entre le monde minéral et le monde animal. Grâce à eux, la matière passe sans cesse par des formes de vie différentes, s'élevant progressivement du minéral à l'animal supérieur.

Dans ce cycle perpétuel, deux éléments de transformation, les bactéries et la chlorophylle, ont une influence prépondérante. Les bactéries ramènent à l'état minéral les produits usés par le fonctionnement des vies supérieures, et la chlorophylle élève les substances minérales à l'état organisé.

Les bactéries peuvent remplir leur rôle destructeur dans une obscurité complète. La chlorophylle a besoin pour le sien d'absorber les vibrations lumineuses. Le végétal représente donc en réalité une transformation de la lumière. C'est l'éther lumineux absorbé et transformé par les végétaux qui fait mûrir les moissons et verdier les forêts. La vie représente une de ses transformations.

On ne peut dire cependant que l'énergie très grande accumulée par la plante soit due tout entière à l'énergie minime que produit l'absorption des rayons lumineux par la chlorophylle. Les rayons absorbés agissent sans doute en provoquant des libérations d'énergie intra-atomique dont le mécanisme n'est pas déterminé encore. Les vibrations de l'éther

déclanchent probablement des forces que des milliers de siècles ont jadis accumulées dans l'atome.

Quels sont les effets des diverses radiations visibles ou invisibles dans la vie végétale ? Le rôle des premières a été étudié par plusieurs générations de chercheurs. Celui des secondes est très ignoré encore à cause de l'insuffisance des méthodes employées pour déterminer leur action.

§ 2. — MÉTHODES D'OBSERVATION DE L'ACTION DU SPECTRE SOLAIRE SUR LA VIE VÉGÉTALE.

La valeur des expériences dépend toujours du choix des méthodes. Celles utilisées pour étudier les actions des diverses parties du spectre solaire — les rayons infra-rouges notamment — sur la vie végétale sont malheureusement entachées de causes d'erreur. Tant toute valeur à la plupart des résultats, d'ailleurs contradictoires, obtenus jusqu'ici. Il est facile de les mettre en évidence.

Pour observer les propriétés des diverses radiations du spectre, on devait naturellement songer à décomposer la lumière par un prisme et placer les végétaux dans les diverses radiations ainsi séparées. La décomposition de l'acide carbonique par les feuilles, par exemple, se mesure en les introduisant dans des tubes étroits placés ensuite dans les divers faisceaux lumineux que le prisme a séparés.

Cette méthode d'apparence si simple comporte des causes d'erreur considérables. La première et la plus grave c'est que la lumière assez dispersée pour être étendue sur une certaine surface perd énormément de son intensité. Or, le rôle de l'intensité dans les réactions chimiques est capital, comme nous l'avons montré. En opérant avec un prisme, on est fata-

lement conduit à chercher dans la coloration la cause d'effets attribuables en réalité à des différences d'intensité. On sait depuis longtemps qu'à la lumière faible des appartements, les plantes décomposent très peu ou même pas du tout l'acide carbonique. Cette lumière contient cependant les rayons nécessaires à la décomposition. Elle ne la produit pas faute d'intensité.

Cette première cause d'erreur suffirait à vicier toutes les conséquences tirées des effets observés. Elle n'est pas d'ailleurs la seule. Les prismes, surtout ceux en flint, choisis généralement à cause de leur grand pouvoir dispersif, absorbent la presque totalité de l'ultra-violet — dont l'action est très importante — et une grande partie de l'infra-rouge.

Sans doute, on peut théoriquement remédier à ces deux inconvénients en se servant de prismes de quartz ou de sel gemme, et c'est ce qu'on a en effet tenté. Mais le pouvoir dispersif de ces substances est très minime et leur spectre par conséquent trop peu étendu.

Les errements précédents, et bien d'autres dont l'exposé complet serait trop technique, expliquent suffisamment les divergences des résultats obtenus par les observateurs. Pour les uns, la décomposition de l'acide carbonique par la plante, c'est-à-dire son rôle le plus important, serait nul dans le rouge et considérable dans le vert. D'autres, croient exactement le contraire, l'action serait nulle dans le vert et maximum dans le rouge. Ce dernier résultat est cependant le plus probable parce que dans le rouge et son voisinage se trouvent les bandes d'absorption de la chlorophylle.

On voit en résumé qu'il y a peu de renseignements précis à tirer des études faites au moyen d'un prisme.

Les résultats obtenus en remplaçant le prisme par

des verres de couleur ne sont pas meilleurs. Il est regrettable qu'il en soit ainsi, car le procédé est pratiquement très simple puisqu'il n'y a qu'à recouvrir les serres de verres de colorations différentes.

Cette méthode procède d'une erreur dans laquelle tombent beaucoup d'expérimentateurs. Comme l'œil ne voit qu'une seule couleur à travers un écran coloré, un verre bleu par exemple, on s'imagine que cet écran ne laisse passer que la couleur perçue par la rétine. Or, il n'en est rien. Aucun verre — en dehors du rouge — n'est monochromatique. Tous laissent passer la totalité du spectre visible. On peut s'en convaincre facilement en interposant entre le ciel et la fente d'un petit spectroscopie à vision directe des verres colorés. J'ai eu occasion d'en étudier un nombre considérable et de constater que tous, en dehors des verres rouges, laissent passer la totalité du spectre et ne font qu'affaiblir l'intensité relative de ses diverses parties.

Donc en fermant une serre avec des verres de couleur, on ne fait guère que réduire inégalement l'intensité des divers rayons lumineux. Quand on met une plante sous un verre bleu, jaune, violet, etc., c'est un peu comme si on la mettait dans un appartement sombre.

L'emploi des verres de couleur pour séparer les diverses radiations comporte encore d'autres causes d'erreur. Ces verres absorbant très inégalement l'infra-rouge, on peut attribuer à l'influence de la lumière ce qui est dû à celle de la chaleur. D'un verre à l'autre les différences d'actions calorifiques sont considérables. En plaçant un thermomètre dans des boîtes de 1 décimètre cube environ de capacité, fermées chacune par des verres de diverses couleurs et qui constituaient ainsi de petites serres, j'ai constaté que la température au soleil étant de 30 degrés elle était plus élevée de 10 à 15 degrés au bout de 10 minutes dans leur intérieur suivant les verres.

Les seules expériences qu'on puisse réaliser avec des verres colorés sont celles où l'on fait usage de

verres rouges. Ils sont, comme je le disais plus haut, presque monochromatiques.

Les expériences exécutées dans des serres fermées par de tels verres à l'observatoire de Juvisy, paraissent prouver qu'un certain nombre de plantes acquerraient à la lumière rouge un développement beaucoup plus considérable qu'à la lumière ordinaire. Telles seraient par exemple les sensibles, les laitues, les glaïeuls, les géraniums, les bégonias, les pommes de terre, les fougères mâles, etc. Quelques-unes : betteraves, pensées, giroflées, etc., prospéreraient au contraire moins bien.

Si on admettait comme démontré que certaines plantes se développent beaucoup mieux à la lumière rouge qu'à la lumière blanche, il faudrait en conclure nécessairement — comme pour la phosphorescence — que certains rayons agissent en sens contraire des autres. A la lumière blanche, une plante reçoit évidemment autant de rayons rouges que sous un verre rouge puisque ce dernier ne fait qu'éliminer de la lumière tous les rayons sauf le rouge. Si le seul fait de cette élimination favorise considérablement le développement de la plante, c'est que les rayons éliminés agissaient pour affaiblir l'action du rouge. Ce serait exactement ce qu'on observe, comme nous le verrons dans le prochain chapitre pour la plaque phosphorescente. Cette dernière devient beaucoup plus lumineuse quand on retire de la lumière qui la frappe certains rayons antagonistes.

Les actions antagonistes s'observant pour la phosphorescence existeraient donc aussi pour les végétaux. Green avait déjà constaté que le violet et l'ultra-violet tendent à détruire la diastase alors que sa production augmente dans le rouge. On verra plus loin que d'après mes expériences, l'infra-rouge détruit la matière verte des plantes et d'autres substances formées dans la partie lumineuse du spectre.

§ 3. — NOUVELLE MÉTHODE D'ÉTUDE DES ACTIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'INFRA-ROUGE ET RÉSULTATS OBTENUS.

Dans les recherches précédentes, il n'a guère été question que des rayons visibles du spectre. Le seul moyen autrefois connu d'étudier l'infra-rouge étant la séparation par le prisme et ce dernier ramassant sur une très petite surface les radiations de cette extrémité du spectre, on ne pouvait guère déterminer leur action.

Le fait mis en évidence par mes recherches de la transparence de corps non métalliques, papier noir, ébonite; etc., pour les rayons de grande longueur d'onde permet de les séparer facilement de la lumière visible. On recouvre simplement une serre avec une de ces substances, le papier noir notamment. Elle est alors plongée dans une obscurité complète, mais baignée de lumière invisible. En réalité, la serre n'a été ainsi privée que du dixième au plus de la lumière totale (visible ou invisible) qu'elle aurait reçue éclairée par le soleil.

Je n'ai pas besoin de faire remarquer, je pense, qu'on ne peut établir aucun rapprochement entre une enceinte où ne pénètrent que les radiations obscures de grande longueur d'onde et les caves qui ont servi à étudier l'action de l'obscurité sur les végétaux. L'obscurité de la serre est la même pour l'œil que celle de la cave, mais les effets produits seront nécessairement fort différents, puisque la serre est baignée par les flots d'une lumière invisible, que la cave ne contient pas.

Je n'ai pu malheureusement poursuivre pendant longtemps mes expériences sur ce sujet, le jardin où elles étaient exécutées n'ayant été mis à ma disposition que pendant une saison. Je ne donne donc les résultats obtenus qu'à titre d'indications. Ils pourront peut-être rendre service aux horticulteurs en leur

donnant le moyen de modifier la couleur de certaines plantes et le goût de divers fruits.

On peut dire d'une façon générale que l'infra-rouge — jusqu'à 2 ou 3 μ — détruit la matière verte formée sous l'action de la lumière et certaines matières colorantes, réduit la proportion de sucre, supprime les produits sapides et transforme aussi la saveur de différentes parties des végétaux.

Voici d'ailleurs le résumé de mes essais :

Action des radiations invisibles sur les végétaux.

1^o *Graines de plantes diverses.* — Laitues, concombres, graminées, etc., mises à germer sous une cloche couverte de papier noir, transparent pour l'infra-rouge. Toutes germent plus vite qu'à la lumière solaire puis dépérissent et meurent en une quinzaine de jours.

2^o *Plantes développées à la lumière du jour puis exposées à la lumière noire.* — Les diverses plantes se conduisent très différemment. En voici quelques exemples : *Reine-marguerite*, ne fleurit pas. *Bégonia*, s'étiole au bout d'une dizaine de jours. *Fraises*, ne se modifient pas et mûrissent très bien. *Concombres* et *haricots*, meurent par étiolement des feuilles.

3^o *Fruits et parties diverses des végétaux.* — Des têtes d'artichauts enveloppées de papier noir, transparent aux grandes radiations, pâlissent complètement en quelques jours mais se développent mieux que des artichauts voisins exposés à la lumière du jour et gagnent beaucoup en qualité. *Poires*, *pêches* et *raisins*. Pâlissent un peu mais se développent très bien. On les a enveloppés dès qu'ils commençaient à se former. Ces trois espèces de fruits présentent cette particularité d'avoir en partie perdu leur goût sucré et leurs principes aromatiques. *Tomates*. Perdent leur couleur rouge et leur goût, blanchissent complètement.

Je ne donne, je le répète, ces expériences que comme des indications générales. Elles méritent en effet des critiques que j'aurais évitées si j'avais pu les refaire. La méthode comparative indispensable pour tirer des conclusions d'expériences où plusieurs facteurs peuvent agir, exige qu'il y ait seulement une condition variant d'une expérience à l'autre afin de pouvoir attribuer les différences de résultats à cette unique différence de condition. Or, dans ces expérien-

ces on n'a pas toujours tenu compte de l'aération, de la chaleur, etc.

Les diverses parties de la lumière exerçant, comme nous allons bientôt le voir des actions antagonistes très nettes il pourrait être fort utile, soit dans l'emploi des bains de lumière, si usités maintenant en thérapeutique, soit dans les recherches biologiques, de pouvoir séparer les radiations afin d'étudier le rôle de chacune d'elles. Dans l'état actuel de la science les études comparatives possibles sur l'action des différents rayons de lumière visible ou invisible sans réduire notablement leur intensité, comme par l'usage d'un prisme, sont limitées à l'emploi des écrans suivants :

Nature des écrans.	Rayons agissant avec chaque écran.
1. <i>Absence complète d'écran.</i>	Les parties agissantes, c'est-à-dire la totalité du spectre solaire, vont de 5μ à $0\mu,295$.
2. <i>Écran formé d'un verre à vitre épais.</i>	La plus grande partie de l'ultra-violet et l'infra-rouge à partir de 2μ sont supprimés.
3. <i>Écran formé d'un verre rouge.</i>	Suppression complète de tout l'ultra-violet et de tout le spectre visible jusqu'au rouge. Les seuls rayons agissant sont le rouge et l'infra-rouge jusqu'à 2 ou 3μ suivant la qualité du verre.
4. <i>Écran formé de papier noir ou d'ébonite.</i>	Suppression de tout le spectre visible. Les rayons agissant sont les rayons infra-rouges.
5. <i>Écran formé d'une lame métallique.</i>	Aucun rayon ne traverse le métal, mais il s'échauffe et émet par sa face inférieure des radiations de 6 à 10μ et au delà suivant sa température. Ces radiations n'existent pas dans le spectre solaire, mais il serait intéressant de connaître leur action et de savoir si elle est simplement calorifique.

Malgré leur insuffisance, ces recherches permettent de pressentir le grand intérêt d'expériences que, faute de laboratoire convenable et de ressources, je n'ai pu qu'amorcer.

CHAPITRE IV

Les propriétés antagonistes de certaines régions du spectre.

§ 1. — LES RAYONS ILLUMINATEURS ET LES RAYONS EXTINCTEURS.

L'étude de l'infra-rouge nous conduisit à constater qu'il exerçait souvent des actions diamétralement opposées à celles de l'autre extrémité du spectre, détruisant par exemple une action produite sous l'influence de cette dernière.

La découverte de ces actions antagonistes des deux extrémités du spectre est contemporaine de l'origine de la photographie; mais il faut bien croire les expériences réalisées pour prouver ce phénomène insuffisamment démonstratives puisque leur interprétation souvent contestée, le fut récemment encore dans une longue discussion devant la Société de physique. Les lentes actions d'inversion se succédant dans les impressions photographiques semblent prêter en effet à diverses interprétations. On ne pouvait élucider entièrement la question, qu'en trouvant le moyen de rendre instantanément évidentes les actions antagonistes. Ce sont ces effets instantanés que réalisent les expériences qui vont suivre.

Les premières observations faites sur la phosphorescence mirent en évidence que tout un côté du spectre comprenant les rayons bleus, violets et ultra-

violet, illumine un écran phosphorescent sorti de l'obscurité. L'autre côté du spectre (rayons verts, rouges et infra-rouges) éteint au contraire la phosphorescence et ne la produit jamais. Certains rayons jouent donc le rôle de rayons illuminateurs et d'autres celui de rayons extincteurs. Ces deux actions visiblement antagonistes, mais très lentes avec la plupart des corps phosphorescents, prêtaient à diverses interprétations. Pour les rendre évidentes, il fallait trouver un corps extrêmement sensible aux radiations qui éteignent la phosphorescence. Le sulfure de zinc à phosphorescence verte est la seule substance actuellement connue jouissant de cette propriété.

Toutes nos expériences ont été faites avec des écrans enduits de ce sulfure suivant la méthode indiquée dans un précédent chapitre.

S'il est exact que certains rayons produisent la phosphorescence et que d'autres agissant en sens inverse l'éteignent par conséquent, il est certain qu'en supprimant de la lumière les rayons extincteurs par l'interposition d'écrans convenables, nous pourrions augmenter l'éclat de la phosphorescence sur un même sulfure. Nous allons voir, qu'il en est bien ainsi, et par exemple qu'un corps ne s'illuminant pas derrière une cuve de sulfate de quinine, s'illuminera très bien si l'on retient, au moyen d'écrans appropriés et sans déplacer la cuve, certains rayons arrivant à sa surface.

E. Becquerel avait signalé autrefois qu'un écran de sulfure phosphorescent exposé à la lumière, derrière une cuve de sulfate de quinine, ne s'illumine pas et il attribuait ce phénomène à l'absorption par le sulfate de quinine des rayons ultra-violet, rayons qui selon lui « excitent principalement la phosphorescence ». Cette explication est tout à fait insuffisante, car si les rayons ultra-violet peuvent bien exciter la

phosphorescence ils ne sont pas du tout ceux qui l'excitent le plus. Les corps phosphorescents sont beaucoup mieux illuminés par les rayons bleus et violets, c'est-à-dire par la portion du spectre comprise entre les raies G et H. Ce point doit être retenu pour bien comprendre les expériences qui vont suivre.

On se rend facilement compte en faisant varier la durée de pose de l'écran phosphorescent de la sensibilité des sulfures dans les diverses régions du spectre. Avec notre spectroscopie à projection muni de son condensateur, un écran de sulfure de calcium ou de zinc s'impressionne en 4 secondes entre G et H et pas du tout dans l'ultra-violet pendant le même temps. Il faut arriver à une exposition de plusieurs minutes pour obtenir de l'impression dans cette dernière région. Du côté du bleu la prolongation de la pose étend l'impression presque jusqu'au voisinage de la raie F, mais pas plus loin.

Prenons maintenant un écran de sulfure de zinc, corps ne s'illuminant pas du tout derrière la cuve de sulfate de quinine. Nous allons l'obliger à s'illuminer brillamment derrière la même cuve, simplement en superposant à cette dernière une autre cuve n'arrêtant pas les rayons bleus, mais arrêtant les rayons extincteurs verts, jaunes, rouges et infra-rouges.

Cette expérience, et celles du même ordre montrant nettement l'action instantanée des rayons extincteurs et illuminateurs sont capitales. Je vais essayer de les simplifier au point de rendre leur répétition facile dans un cours.

On expose au soleil : 1° un écran couvert de sulfure de zinc et 2°, à son côté, un autre écran semblable, mais appliqué derrière un flacon plat rempli d'une solution saturée de sulfate de cuivre ammoniacal. Cette solution est presque opaque pour l'œil sous une épais-

seur de 2 centimètres environ. Laissant le flacon plat sur son écran on l'emporte avec l'autre dans l'obscurité, alors on constate, après avoir retiré le flacon de sulfate de cuivre, que l'écran de sulfure de zinc placé derrière ce dernier, et malgré l'obstacle apparent qu'il présentait au passage de la lumière, est beaucoup plus lumineux que l'écran exposé directement au soleil. Cette différence tient simplement à ce que le sulfate de cuivre a absorbé les rayons extincteurs et laissé agir seulement les rayons illuminateurs. Sur l'écran, directement exposé au soleil, l'éclat de la phosphorescence est beaucoup moins vif, parce qu'une partie de l'effet des rayons illuminateurs a été détruite par les rayons extincteurs qui y sont mélangés.

Nous pouvons maintenant aborder l'expérience relatée plus haut de la cuve de sulfate de quinine derrière laquelle on peut, à volonté, illuminer ou non un écran de sulfure phosphorescent. Aucune expérience ne montre d'une façon plus frappante le rôle des rayons extincteurs et des rayons illuminateurs.

Derrière un flacon plat contenant une solution aqueuse parfaitement transparente de sulfate de quinine à 10 %, acidifiée à l'acide sulfurique jusqu'à dissolution complète, on met un écran de sulfure de zinc puis on expose le système au soleil (fig. 38). Malgré la transparence complète pour l'œil du sulfate de quinine, et quelque prolongée que puisse être la pose, on constate, en reportant le système dans l'obscurité, que le sulfure de zinc ne présente aucune trace de phosphorescence.

Cette absence de phosphorescence tient uniquement à ce que le sulfate de quinine retenant une partie des rayons illuminateurs et laissant passer au contraire tous les rayons extincteurs, ces derniers l'emportent.

Pour prouver qu'il en est bien ainsi, exposons de nouveau au soleil¹ notre écran de sulfure de zinc appliqué derrière le flacon plat rempli de sulfate de

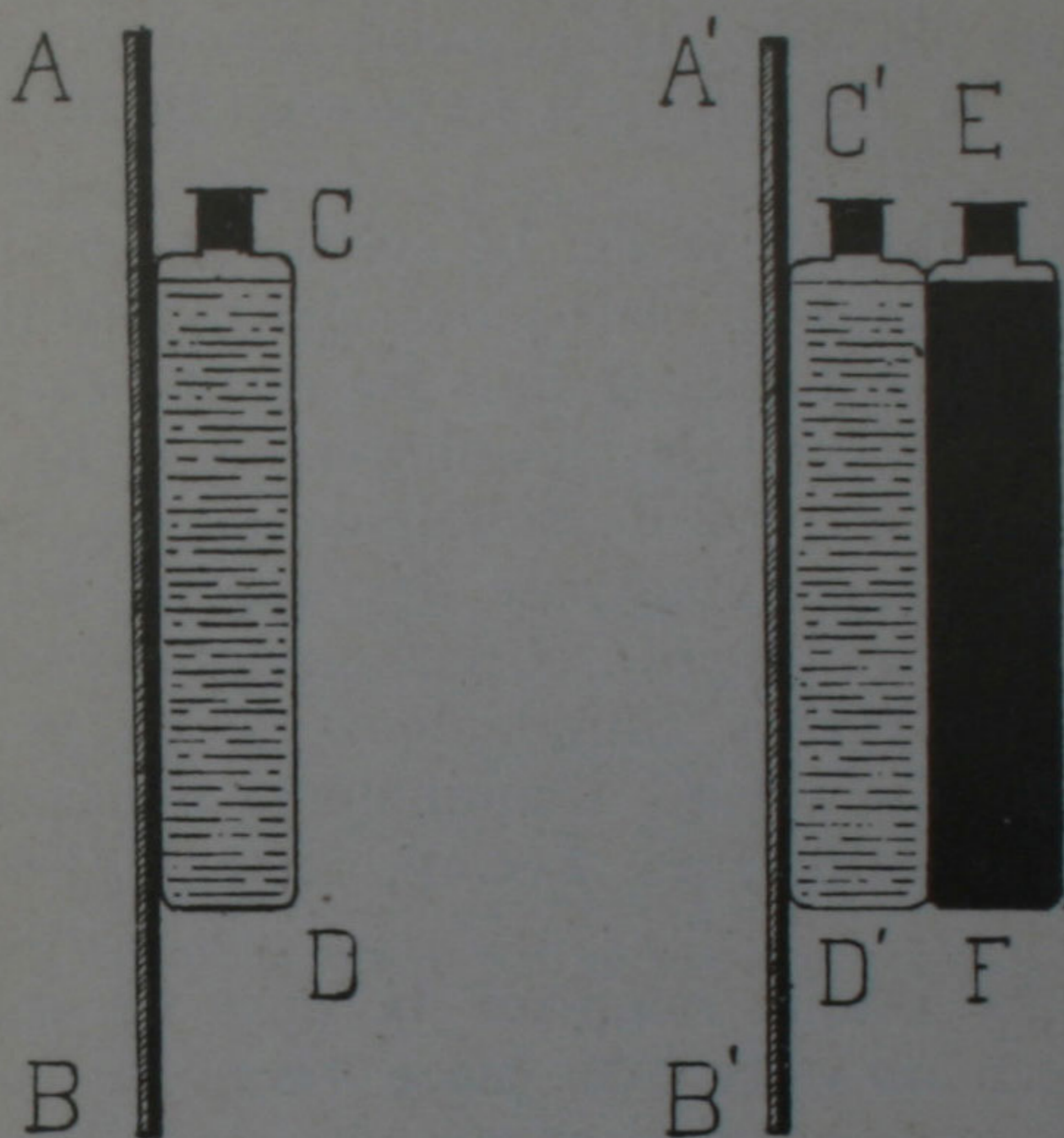


FIG. 38 et 39. — Appareils servant à démontrer instantanément les propriétés antagonistes des extrémités du spectre.

A B et A' B' sont des écrans de sulfure de zinc à phosphorescence verte. C D et C' D' sont des flacons plats remplis d'une solution à 10 p. 100 de sulfate de quinine. E F est un flacon plat rempli d'une solution saturée, presque opaque de sulfate de cuivre ammoniacal.

En exposant l'écran A B au soleil derrière le flacon de sulfate de quinine C D il ne devient nullement phosphorescent. Si on superpose ensuite au flacon de sulfate de quinine C' D' qui arrête une partie des rayons illuminateurs et laisse passer tous les rayons extincteurs, le second flacon E F de sulfate de cuivre retenant les rayons extincteurs, l'écran A' B' devient vivement lumineux. Il devient donc phosphorescent derrière deux flacons superposés dont un presque opaque, alors qu'il ne s'illuminait pas derrière un seul de ces flacons malgré sa transparence. La lumière ordinaire étant un mélange de rayons extincteurs et illuminateurs il a suffi d'éliminer les premiers pour augmenter considérablement l'éclat de la phosphorescence.

1. A la lumière diffuse il n'y aurait pas d'illumination derrière le sulfate de cuivre par suite de l'intensité insuffisante des rayons. La cuve de sulfate de cuivre ne peut être traversée que par une lumière intense.

quinine, mais devant ce dernier superposons le flacon contenant la solution de sulfate de cuivre ammoniacal dont il a été parlé plus haut. Reportant alors le système dans l'obscurité, nous verrons notre écran de sulfure de zinc brillamment illuminé, bien qu'il n'ait reçu la lumière qu'à travers un liquide presque opaque.

L'explication est facile. Le sulfate de quinine retenait, avons-nous dit, *une partie* des rayons illuminateurs et laissait passer tous les rayons extincteurs, donc il empêchait la phosphorescence. En plaçant devant lui une cuve de sulfate de cuivre, on a supprimé la grande majorité des rayons extincteurs (rouges et infra-rouges), et par conséquent laissé agir surtout les rayons illuminateurs bleus et violets. La somme des rayons illuminateurs dépassant celle des rayons extincteurs, l'écran devient phosphorescent.

Si nous avons remplacé la cuve de sulfate de cuivre par un verre bleu placé devant le sulfate de quinine, nous aurions encore eu de l'illumination, mais plus faible qu'avec le sulfate de cuivre, parce que le verre bleu arrête très insuffisamment les rayons extincteurs, ceux de la région infra-rouge surtout.

Ce que nous venons de dire de l'action des rayons extincteurs et illuminateurs sur les corps phosphorescents permet de bien saisir maintenant le rôle des écrans interposés entre les corps phosphorescents et les sources lumineuses.

La lumière étant un mélange de radiations capables d'agir en sens inverse et sa composition devenant fort différente suivant les sources employées, ou suivant les écrans filtreurs interposés entre la source lumineuse et les corps phosphorescents, on devine de suite l'explication des faits que nous allons énumérer :

1° Un écran de sulfure de zinc s'illumine beaucoup plus à l'ombre qu'au soleil ;

2° Le même écran s'illumine davantage sous un verre bleu ¹ à l'ombre qu'au soleil ;

3° Derrière une cuve de 2 centimètres d'épaisseur contenant une solution de sulfate de cuivre ammoniacal, l'illumination du même écran est bien plus intense encore, mais cette fois elle devient plus vive au soleil qu'à l'ombre ;

4° Derrière une cuve d'alun ou de sulfate de fer, l'illumination des corps phosphorescents est réduite et non augmentée ;

5° A la lumière d'une lampe à pétrole ou d'une bougie l'illumination d'un écran de sulfure de zinc est à peu près nulle, et si on présente à ces sources lumineuses un écran insolé à la lumière du jour, il s'éteint aussitôt. Le même phénomène ne s'observe pas du tout avec un écran de sulfure de calcium.

Voici quelques chiffres donnant l'intensité lumineuse d'un écran de sulfure de zinc illuminé dans la plupart des conditions que nous venons d'examiner. L'éclat du sulfure insolé au soleil, sans écran interposé, est d'environ 0^B,002 (2 millièmes de bougie). Prenant cette intensité pour unité, nous voyons dans le tableau suivant, les accroissements d'éclat produits par l'interposition de différents écrans entre la source lumineuse et le sulfure. Ils nous montrent, par exemple, que l'éclat du sulfure de zinc derrière une cuve de sulfate de cuivre est environ quatorze fois plus grand (3 centièmes de bougie) que quand il a été illuminé au soleil sans aucune interposition d'écran.

1. Pour toutes ces expériences, il faut s'arranger toujours de manière qu'une partie de l'écran phosphorescent dépasse le corps placé devant lui, de façon à avoir une plage de comparaison quand on l'examine ensuite dans l'obscurité.

	Chiffres représentant l'intensité relative.
Intensité lumineuse d'un écran de sulfure de zinc exposé <i>au soleil</i>	1
Intensité du même écran illuminé à <i>l'ombre</i> . . .	2
Intensité du même écran exposé <i>au soleil</i> sous un verre bleu cobalt.	7
Intensité du même écran exposé à <i>l'ombre</i> sous un verre bleu cobalt.	9
Intensité du même écran exposé <i>au soleil</i> derrière une cuve de sulfate de cuivre ammoniacal saturé, de 2 centimètres d'épaisseur.	14

Ces différences ne s'observent pas avec les autres sulfures, en raison de leur sensibilité plus faible pour l'action extinctrice des grandes radiations. Pour les constater, il fallait une substance comme le sulfure de zinc sensible à la fois aux radiations extinctrices et aux radiations illuminatrices. Son éclat sous l'influence de la lumière représente toujours la différence entre l'action des rayons extincteurs et celle des rayons illuminateurs.

Nous voyons donc que l'illumination d'un corps phosphorescent dépend uniquement du rapport existant dans une source de lumière entre les diverses radiations qui la composent. En faisant varier ce rapport, on fait varier l'éclat.

Ainsi s'explique l'action d'un écran de verre bleu cobalt. Il affaiblit les radiations extinctrices, et augmente par conséquent davantage l'illumination. Le sulfate de cuivre, qui arrête beaucoup plus les radiations extinctrices, accroît aussi l'illumination. Le sulfate de fer, l'alun, agissent faiblement parce qu'ils arrêtent bien une portion de l'infra-rouge et en outre une partie de l'ultra-violet illuminateur, mais non le rouge ni le vert qui sont extincteurs.

En ce qui concerne l'illumination du sulfure de zinc, plus grande à l'ombre qu'au soleil — fait très curieux et qui avait échappé à tous les observateurs

— l'explication reste exactement la même. La lumière diffuse est de la lumière bleue renvoyée par le ciel. D'après des observations spectroscopiques déjà anciennes, elle contient relativement beaucoup moins de rayons rouges — et probablement aussi infra-rouges — que la lumière directe du soleil. Donc, malgré l'intensité lumineuse supérieure du soleil, le sulfure sera plus lumineux à l'ombre. Cette explication est bien la bonne; car si nous retirons des rayons solaires les radiations extinctrices avec notre solution de sulfate de cuivre, l'illumination sera aussitôt beaucoup plus vive au soleil qu'à l'ombre par suite de l'intensité plus grande des rayons illuminateurs.

Le même raisonnement nous explique pourquoi le sulfure de zinc non seulement ne s'illumine pas à la lumière d'une forte lampe, mais s'éteint s'il est illuminé. Dans nos éclairages artificiels, les 9/10 des rayons émis sont des rayons infra-rouges extincteurs qui détruisent l'action des rayons illuminateurs. Même en interposant une cuve épaisse de sulfate de cuivre, on n'obtient qu'une illumination très faible, parce que, vu la prédominance des rayons infra-rouges, il est impossible de les arrêter en proportion suffisante. D'ailleurs, l'interposition de cette cuve réduit beaucoup l'intensité des rayons illuminateurs. Or le degré de phosphorescence d'un sulfure est, jusqu'à une certaine limite en rapport avec l'intensité de la source lumineuse qui l'a illuminé. Aux éclairages faibles les sulfures phosphorescents ne se saturent pas, quelle que soit la durée de l'exposition.

Tout ce qui vient d'être dit pour le sulfure de zinc n'est pas applicable, je le répète, aux autres sulfures phosphorescents, en raison de leur faible sensibilité pour les grandes radiations et surtout pour l'infra-rouge; c'est pourquoi un écran de sulfure de cal-

cium ne s'illumine pas notablement plus derrière des cuves arrêtant les radiations extinctrices. L'action de ces dernières est trop lente pour combattre celle des radiations illuminatrices qui ont le temps d'agir auparavant.

L'œil est plus insensible encore aux radiations infra-rouges que les sulfures phosphorescents, autres que le sulfure de zinc. Si la sensibilité de la rétine était comme pour ce dernier corps la somme algébrique des effets produits par des radiations agissant en sens contraire, il suffirait d'interposer entre l'œil et un paysage des écrans convenables pour que l'éclat apparent de ce paysage augmentât dans d'énormes proportions, et il deviendrait tout à fait inutile alors d'employer l'électricité pour éclairer nos rues.

Ces actions si différentes des deux extrémités du spectre ne s'observent pas seulement avec la phosphorescence. Elles existent aussi dans la photographie, comme nous allons le montrer.

§ 2. — LES PROPRIÉTÉS ANTAGONISTES DES DIVERSES RÉGIONS DU SPECTRE DANS LA PHOTOGRAPHIE.

Si les plaques photographiques avaient pour l'action destructive de l'infra-rouge une sensibilité égale à celle du sulfure de zinc, on pourrait, comme nous l'avons fait pour ce dernier, beaucoup accroître leur rapidité d'impression en plaçant devant l'objectif des écrans arrêtant les rayons extincteurs.

Mais il n'en est pas ainsi parce que la plaque photographique, très sensible pour les rayons visibles ne l'est pas pour les rayons invisibles qui, dès lors, ne peuvent agir. Cependant il est facile en faisant intervenir le temps, de montrer que les rayons extinc-

teurs peuvent détruire sur la plaque l'impression produite par les rayons illuminateurs.

Mettons dans un châssis photographique une lame

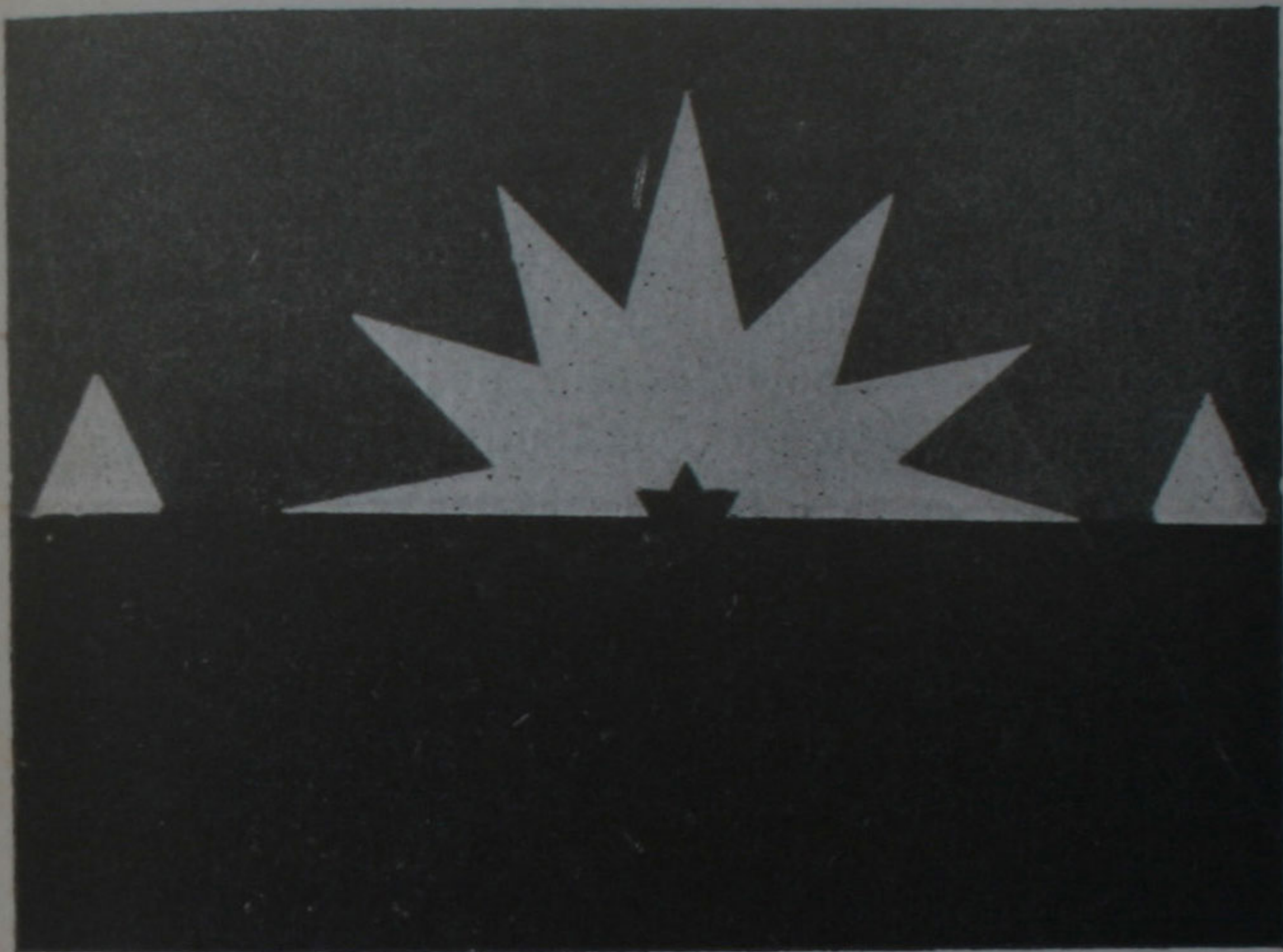


FIG. 40. — *Démonstration de la transparence des corps opaques (papier noir, ébonite, etc.) pour la lumière invisible et de l'opacité des mêmes corps pour la lumière visible en utilisant les propriétés antagonistes des extrémités du spectre.*

Pour montrer la transparence des corps pour les rayons invisibles on s'est basé sur la propriété possédée par eux de détruire l'impression photographique qu'ils seraient incapables de produire. On met dans un châssis une lame d'ébonite au centre de laquelle ont été collées des étoiles métalliques. On place au-dessous une plaque sensible dont une moitié seulement a été voilée en l'exposant pendant deux secondes à la lumière d'une bougie. Le châssis est alors exposé pendant une heure au soleil. En développant la plaque on n'aperçoit aucune trace d'impression sur la partie non voilée. Sur la partie voilée l'infra-rouge a traversé l'ébonite et détruit le voile sauf sous l'étoile métallique. Il en résulte que cette dernière forme réserve et apparaît par conséquent en noir sur l'image négative et en blanc sur l'image positive telle qu'elle est reproduite ici.

d'ébonite d'une épaisseur comprise entre 1 millimètre et 1 centimètre. Au-dessous d'elle, collons une croix découpée dans une feuille d'étain. Derrière

cette lame d'ébonite introduisons dans l'obscurité une plaque au gélatino-bromure à *grains très fins*, préalablement voilée par une exposition de deux secondes à la lumière d'une bougie. Refermons le châssis, et exposons-le une heure au soleil. L'infra-rouge traverse l'ébonite et détruit le voile produit sur la plaque par son exposition à la lumière de la bougie. Dans la partie protégée par la croix métallique il n'agira pas, c'est pourquoi, en développant l'image, nous aurons la reproduction de la croix de métal sur fond très clair. La lame d'ébonite peut d'ailleurs être remplacée par deux ou trois feuilles superposées de papier noir.

Il n'y a aucune analogie entre cette expérience et les inversions qu'on obtient en surexposant une plaque illuminée par des rayons bleus ou violets. L'infra-rouge qui détruit l'impression photographique ne la produit jamais. Cette double propriété est limitée à l'infra-rouge, car les rayons rouges peuvent avec une pose suffisante impressionner la plaque. Si on prolonge en effet l'exposition sous un verre rouge, la plaque se voile pour se dévoiler ensuite. Mais dans cette expérience interviennent les phénomènes d'inversion observés avec toutes les radiations, et qui constituent un ordre très différent de phénomènes. Dans la partie visible du spectre une radiation quelconque détruit l'impression qu'elle avait produite quand on prolonge beaucoup la pose — fait facile à constater au spectroscope.

Nous résumerons dans le tableau suivant les propriétés antagonistes des deux extrémités du spectre telles qu'elles résultent de nos recherches.

Tableau des actions antagonistes des deux extrémités
du spectre.

1° Région visible du spectre.	2° Région infra-rouge invisible.
A Ne peut traverser les corps opaques.	A' Traverse la plupart des corps opaques pour l'œil, les métaux excepté.
B Impressionne les plaques photographiques.	B' Détruit l'impression produite sur les plaques photographiques.
C Produit la phosphorescence.	C' Éteint la phosphorescence.
D Produit la plupart des réactions d'où la vie des végétaux dépend.	D' Détruit un grand nombre de réactions produites par la lumière visible. Détruit notamment la matière colorante des végétaux.
E Dissocie énergiquement la matière surtout dans l'extrémité ultra-violette.	E' Sans action dissociante sur la matière.

Il ne faut pas demander les raisons de ces différences; si le comment des choses est parfois accessible, leur pourquoi ne l'est pas encore.

LIVRE V

LES FORCES D'ORIGINE INCONNUE ET LES FORCES IGNORÉES

CHAPITRE I

La gravitation universelle et les forces ignorées.

§ 1. — LES CAUSES DE LA GRAVITATION.

Le qualificatif de forces d'origine inconnue s'appliquerait en réalité à toutes celles déjà étudiées, puisque nous ignorons leur essence ; mais, au moins, connaissons-nous quelques-uns de leurs caractères fondamentaux et leur mode de propagation. Il existe au contraire des forces telles que la gravitation, l'affinité, les actions moléculaires, etc., dont nous ne savons à peu près rien. C'est pourquoi nous les avons réunies dans une division spéciale de cet ouvrage.

Toutes nos connaissances relatives à la gravitation se réduisent à l'énoncé suivant : les corps s'attirent proportionnellement à leurs masses et en raison inverse du carré de la distance qui les sépare. Des causes de cette attraction, de la façon dont elle

se propage et de la vitesse de sa propagation nous ne pouvons rien dire.

La découverte de la loi que nous venons de formuler est due, comme on le sait à Newton, et lui demanda de longues recherches. La pesanteur était connue depuis longtemps et Galilée en avait parfaitement étudié les lois. Mais jusqu'où s'étendait son action, dépassait-elle les limites de notre atmosphère? C'est ce qu'on ignorait entièrement.

La vue géniale de Newton fut d'avoir supposé que la pesanteur pourrait s'étendre jusqu'aux diverses planètes et être la cause des mouvements qu'elles décrivent dans l'espace. Il consacra plusieurs années de sa vie à vérifier la justesse de cette hypothèse.

Après avoir découvert les lois de la gravitation, Newton essaya vainement d'en déterminer la cause. « La raison des propriétés de la pesanteur, dit-il, je n'ai pas encore pu la déduire. »

Ses successeurs n'y réussirent pas davantage. On entrevoit de plus en plus que la pesanteur est due aux relations existant entre l'éther et la matière, rattachés sans doute par des lignes de force, mais ce n'est là qu'une indication assez vague échappant encore aux données de l'expérience. Il est possible que les mouvements de giration des atomes se communiquent à l'éther, et par lui aux divers corps matériels établissant ainsi une attraction entre eux. L'attraction réciproque des tourbillons nous est aujourd'hui démontrée par de nombreuses expériences. Quand le mouvement de giration des particules se transforme en mouvement de translation dans l'espace pendant la dissociation de la matière, ces particules n'exercent plus d'action attractive les unes sur les autres et cessent par conséquent d'être pondérables. Cette explication fut donnée par M. le professeur Armand Gautier dans un travail qu'il publia à propos de mes recherches.

La gravitation se présente avec ce caractère incompréhensible que ne possède aucune des manifestations énergétiques connues de n'être arrêtée par aucun obstacle. Les recherches les plus délicates ont montré qu'il n'existait pas de corps opaques pour l'attraction.

La gravitation relie entre elles toutes les particules des mondes composant notre système solaire et les fait agir sans trêve les unes sur les autres. Dans l'immense univers aucun corps ne peut être considéré comme isolé.

La gravitation est une force très petite, si nous ne considérons que les actions exercées par les masses dont nous disposons¹. Mais c'est une force extrêmement grande pour des masses considérables. Sa puissance nous apparaît chaque jour dans le phénomène des marées. Sous l'influence de l'action combinée du soleil et de la lune, les mers se soulèvent d'une hauteur moyenne de 1 mètre ce qui représente un poids de 1.000 kilogrammes par mètre de surface.

Les physiciens n'ont pu rien dire de plus sur la gravitation que ce qui précède. Dans un travail important, dont je reproduis quelques passages, M. Boys a parfaitement montré à quel point elle reste inexplicable.

« Elle semble défier, dit-il, toutes nos tentatives pour abandonner la notion inconcevable d'action à distance : car alors même que nous pourrions concevoir un autre mode d'action, c'est de cette façon tout à fait incompréhensible qu'agit la gravitation à distance et sans égard à l'existence ou à la nature des corps interposés et aussi à ce qu'il semble instantanément. Bien plus dans l'état actuel de nos connaissances, aucun autre agent physique, même parmi ceux qui dépendent de l'éther, n'a d'influence sur la direction ou la grandeur de l'action de la gravitation.

« Les difficultés qu'on éprouve à créer une représentation

1. Boys évalue à sept millièmes de milligramme l'attraction exercée par deux masses de 1 kilogramme placées à 1 mètre de distance.

mécanique de l'éther sont considérables; mais le mode de propagation de la gravitation paraît encore plus inaccessible¹. »

La vitesse de propagation de la gravitation était estimée par Laplace immensément supérieure à celle de la lumière. Poincaré la considère au contraire comme se propageant avec une vitesse de l'ordre de celle de l'ébranlement lumineux.

Nous ne savons pas comment se propage la gravitation, mais il me semble que la loi de l'inverse du carré de la distance permet de supposer des ondes gravifiques ayant une forme analogue à celle des ondes lumineuses, électriques, etc. Ce n'est, en effet, qu'aux forces se propageant de cette façon qu'est applicable une telle loi. Elle n'est qu'une conséquence des propriétés géométriques des corps sphériques et résulte simplement de ce que les surfaces des sphères concentriques sont proportionnelles au carré de leurs rayons. Plaçons une bougie au centre d'une sphère de rayon déterminé, chaque partie de cette sphère recevra une certaine quantité de lumière. Doublons le rayon de la sphère, la même quantité de lumière s'étalant sur une surface quatre fois plus grande, son intensité sur une même étendue de la sphère sera donc quatre fois moindre; avec un rayon triple, l'intensité sera neuf fois moindre et ainsi de suite. Il en serait de même si la source de lumière était remplacée par un corps sonore. L'intensité du son par unité de surface serait, pour la même raison, inverse du carré de la distance. Cette loi de l'inverse du carré de la distance signifie donc simplement que l'intensité à une distance donnée est inversement proportionnelle à la surface de l'onde sphérique propagée à cette distance, ce qui est géométriquement évident. Quand une force décroît avec la distance suivant cette loi, il est assez légitime de supposer qu'elle

1. *Congrès de Physique de 1900*, t. III, p. 306.

se propage par ondes sphériques. Ce serait le cas de la pesanteur.

§ 2. — LES CONSÉQUENCES DE LA GRAVITATION.

Les lois de la gravitation expriment simplement ce fait d'expérience que tous les corps exercent les uns sur les autres une certaine attraction. De ce phénomène si simple en apparence, bien que si peu explicable, résulte la marche des astres et, suivant certains physiciens, toutes les forces de l'univers y compris celles qui présidèrent à la formation de notre système solaire.

On admet généralement, en effet, que le globe central, origine du soleil, se serait formé par suite des attractions réciproques des éléments de la nébuleuse primitive.

L'entretien de la chaleur solaire, d'où dérivent la plupart des forces terrestres, résulterait, d'après Helmholtz, de la contraction progressive du soleil consécutive à l'attraction respective de ses éléments et de la perte de force vive qu'éprouvent les molécules en se rapprochant.

C'est également en vertu de la gravitation combinant ses effets avec ceux de l'inertie que les astres décrivent leurs orbites dans l'espace. Un corps lancé en ligne droite continuerait sa course dans la même direction en vertu de son inertie, mais s'il est soumis en même temps à l'action d'une force qui l'attire dans une direction perpendiculaire à celle de sa marche, sa trajectoire rectiligne s'infléchit et devient une courbe. En vertu de leur inertie seule les planètes, lorsqu'elles se détachèrent du soleil au moment de leur formation, auraient continué leur course en ligne droite dans l'espace. D'autre part, si elles n'avaient pas reçu cette impulsion initiale, la gravitation les aurait réunies en une seule masse. La résultante de ces deux

actions antagonistes est la courbe qu'elles décrivent autour du soleil et qui peut, suivant la grandeur de l'impulsion primitivement reçue, être un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole. Seules certaines comètes paraissent avoir une trajectoire hyperbolique, les planètes suivent des ellipses très voisines d'un cercle. Naturellement toutes ces planètes agissent les unes sur les autres, ce qui altère un peu leurs mouvements, et c'est pourquoi les lois de Képler n'ont qu'une exactitude approchée.

La force dite centrifuge résulte de cette double action de l'impulsion primitive combinée avec la gravitation. L'astre représente la pierre tenue par une corde que fait tourner le frondeur. L'impulsion reçue par la pierre représente celle reçue par l'astre, et la corde qui retient la pierre correspond à l'attraction. Cette attraction est le fil immatériel qui attire sans cesse l'astre et l'oblige à parcourir un chemin circulaire. Si elle cessait de s'exercer un seul instant, les planètes s'échapperaient en ligne droite dans l'espace en suivant la tangente à la trajectoire, comme la pierre que la corde cesse de maintenir pendant sa rotation.

Ainsi donc, le mouvement des astres résulte de deux causes : une force permanente, la gravitation, qui agit sans cesse sur eux, et une impulsion initiale d'un instant qui a donné à l'astre une certaine vitesse qu'il garde en raison du principe de l'inertie d'après lequel un corps mis en mouvement conserve son mouvement. Nous retombons ainsi encore sur cette mystérieuse propriété de l'inertie étudiée dans un autre chapitre et qui est peut-être plus incompréhensible que la gravitation.

La gravitation, origine des forces et du mouvement des astres, est aussi celle du phénomène appelé pesanteur. Cette dernière n'est qu'un cas particulier de l'attraction universelle, c'est-à-dire de

l'attraction qu'exercent les corps les uns sur les autres. Quand nous disons qu'un corps possède un poids déterminé, cela signifie qu'il est attiré par la terre. Nous mesurons la grandeur de cette attraction en recherchant la pression qu'elle exerce sur un autre corps, le plateau d'une balance par exemple, ou en lui opposant une force antagoniste de grandeur connue, comme l'élasticité d'un ressort ou une attraction magnétique.

C'est le plus souvent en les mettant en opposition avec la pesanteur que nous mesurons et utilisons les forces. La plupart de nos machines ont pour but de se servir de la pesanteur ou de lutter contre elle. La mécanique industrielle est en réalité l'art d'utiliser la pesanteur et l'inertie.

La gravitation, l'inertie et la chaleur solaire, représentent les trois puissances fondamentales utilisées par l'homme. Elles conditionnent son existence et ses civilisations. Si leurs grandeurs avaient été différentes, les civilisations auraient pris un tout autre aspect. Pour la chaleur solaire, on le voit nettement en remarquant combien diverses sont la faune et la flore au pôle et à l'équateur. Chaleur extrême ou froid extrême semblent impliquer la vie sauvage ou tout au moins la barbarie. Au-dessous de zéro et au-dessus de 50 degrés, il ne peut naître de civilisations.

On voit moins clairement peut-être les phénomènes que pourraient engendrer les différences de la gravitation. Il est facile de pressentir cependant combien seraient autres nos conditions d'existence si la pesanteur était réduite ou annulée. Il ne semble pas tout d'abord qu'on soit en droit de supposer sa non-existence, puisqu'elle est, comme l'inertie, une propriété irréductible de la matière impossible à modifier, et suivant tous les corps à travers leurs changements. Mais si la gravitation demeure indestructible, ses effets peuvent être restreints ou même anéantis. On a calculé qu'il suffirait que la terre tournât

dix-sept fois plus rapidement pour que la force centrifuge annulât entièrement l'attraction de la masse terrestre sur les corps placés à l'équateur. Ils cesseraient alors d'être pesants et ne retomberaient plus par conséquent sur la terre dès qu'on les abandonnerait à eux-mêmes. Leur poids dépend donc de la vitesse de rotation de notre globe qui dépend elle-même de l'impulsion primitivement reçue lorsque, sous l'influence de la force centrifuge, il se détacha du soleil, à l'époque de sa formation.

Il existe d'autres causes possibles d'annulation de l'attraction. On sait que les ondes lumineuses tombant sur une surface, exercent une certaine pression sur elle. On a calculé que pour des matières peu denses et très divisées, l'attraction solaire pourrait être non seulement annulée¹, mais même changée en une répulsion qui serait cause de la déformation de la tête des comètes. Poynting a calculé qu'un soleil à la température du nôtre, mais qui n'aurait que 32 kilomètres de diamètre, repousserait, au lieu de les attirer, tous les corps ayant moins de 1 centimètre de diamètre.

Il serait inutile d'insister sur ces considérations qui nous montrent seulement combien sont nombreuses les possibilités des choses et à quel point l'existence des êtres vivants et toutes les idées que nous nous faisons du monde sont conditionnées par des forces extérieures auxquelles nous ne pouvons nous soustraire. C'est une notion évidente, mais que certains philosophes ont oublié un peu.

1. « Considérons une très petite sphère soumise d'une part aux forces de gravitation, d'autre part à l'action d'une radiation puissante, la radiation solaire par exemple. La gravitation agit proportionnellement au volume de la sphère, c'est-à-dire au cube du rayon, la répulsion radiante est proportionnelle à la surface d'un grand cercle de la sphère, c'est-à-dire au carré du rayon. Quand le rayon tend vers zéro, la force de radiation devient de plus en plus importante par rapport à la gravitation et peut arriver à l'équilibrer complètement. » (Bouty.)

§ 3. — LES FORCES ENTREVUES.

Il est peu supposable que les forces de la nature soient limitées au petit nombre de celles que nous connaissons. Si nous les ignorons, c'est que nous ne possédons pas de réactifs pour les révéler. La découverte de réactifs appropriés est le seul moyen de les mettre en évidence. Depuis vingt ans la science a annexé les ondes hertziennes, les rayons X, les rayons cathodiques, les rayons radio-actifs et l'énergie intra-atomique au petit domaine des forces anciennement connues. Il est difficile de croire que le terme de ces découvertes soit atteint; des forces très puissantes peuvent nous entourer sans que nous les apercevions. L'énergie intra-atomique n'était pas soupçonnée il y a dix ans à peine. L'électricité, inconnue pendant des milliers d'années, le serait peut-être bien encore si tous les corps étaient bons conducteurs.

Il n'y a pas lieu évidemment de dissenter sur des forces ignorées. On doit d'abord tâcher de les découvrir. C'est à peine si quelques données très vagues permettent de les soupçonner.

Nos moyens de recherches sont généralement la constatation d'attractions et de répulsions, et ils ne conduisent pas bien loin. On a signalé déjà cependant, à plusieurs reprises, les attractions ou répulsions qu'éprouvait une aiguille légère suspendue par un fil de cocon et dont on approche un corps vivant, mais elles sont peut-être dues uniquement à l'action de la chaleur¹.

Nous sommes donc ici entièrement dans le domaine des hypothèses pures et nous ne saurions nous y attarder longtemps. Disons seulement que les énergies intra-atomiques sont une source de bien des variétés pos-

1. M. Legge m'a dit avoir constaté qu'à travers le vide les actions de cet ordre ne se manifestaient pas.

sibles d'énergie. Un ingénieur, M. Georges Delbruck, a supposé que de grands oiseaux, dont le vol plané ne s'accompagne d'aucun mouvement apparent ¹, posséderaient la faculté d'engendrer aux dépens de l'énergie intra-atomique une force capable de lutter contre la gravitation jusqu'à l'annuler. Cette hypothèse très difficilement vérifiable, n'a en elle-même rien d'absurde. La gravitation n'est qu'une attraction pouvant être anéantie par une répulsion égale, tout comme celle exercée sur des masses de fer peut être annulée par des actions magnétiques.

Cette théorie séduira les spirites qui croient avoir constaté les phénomènes de lévitation que présenteraient les objets en relation avec certains sujets. Néanmoins, avant d'expliquer ces lévitations, il faudrait d'abord rendre leur réalité indiscutable.

Quant aux forces dites psychiques, les matérialisations, etc., nous croyons inutile de nous en occuper ici. Elles attirèrent l'attention de savants éminents, tels que Crookes, Lodge, Richet, etc., mais leur démonstration est encore à faire et tant qu'elle ne sera pas faite, mieux vaut tenter d'interpréter les phénomènes observés par des causes connues. L'histoire des rayons N montre, d'ailleurs, la difficulté de bien observer en pareille matière et d'éviter les causes d'erreur et notamment les suggestions. Avant d'élever un temple aux forces inconnues, il faut être bien certain qu'elles ne sortent pas uniquement de ce domaine des illusions, d'où toutes les divinités sont nées jusqu'ici.

1. L'auteur fait remarquer que dans le vol plané, les ailes restent entièrement immobiles et que les grands planeurs sont de tous les animaux volants ceux dont les ailes sont les plus petites relativement au poids de l'animal. Ces planeurs s'élèvent jusqu'à des hauteurs de 7,000 mètres par des jours sans vent en décrivant des spirales, et cela sans donner un seul coup d'aile. Ce vol sans mouvement des oiseaux planeurs n'a pu recevoir encore aucune explication acceptable.

CHAPITRE II

Les forces moléculaires et intra-atomiques.

§ 1.— LES ATTRACTIONS ET RÉPULSIONS DES ÉLÉMENTS DE LA MATIÈRE.

Nous avons déjà consacré plusieurs chapitres de notre dernier ouvrage à étudier les équilibres des éléments matériels et les forces dont ils sont le siège. Nous y revenons sommairement encore, pour montrer combien sont ignorées dans leur nature quelques-unes des forces dont nous constatons les effets.

C'est en examinant de près des phénomènes d'une observation journalière, que l'on comprend le mieux à quel point les choses qui nous entourent sont compliquées et combien rudimentaires les notions classiques possédées sur elles. Si l'on demande à un physicien quelle cause maintient en présence les molécules d'un corps solide, une barre de fer, par exemple, il répondra que c'est une force nommée la cohésion. Si on lui demande en quoi consiste la cohésion, il sera bien obligé de répondre qu'il n'en sait absolument rien. Si l'on demande à un chimiste pourquoi certains corps, mis en présence, se combinent, il dira que c'est en vertu d'une force inconnue, nommée l'affinité, dont il peut seulement constater certains effets. On obtiendrait des réponses analogues en l'interrogeant sur l'osmose, la cristallisation, les actions catalytiques, les actions diastasiques, etc. Tous ces phénomènes appartiennent

au cycle des énergies moléculaires et intra-atomiques, dont la connaissance approfondie est réservée à une science beaucoup plus avancée que la nôtre.

Les effets les plus constants et les plus facilement observables de ces forces sont des attractions ou des répulsions s'exerçant entre les divers éléments de la matière.

Nous avons vu que la matière était composée de particules infiniment petites gravitant les unes autour des autres, comme les planètes autour du soleil et constituées probablement par des tourbillons d'éther. La matière est de l'éther déjà organisé, ayant acquis certaines propriétés, telles que le poids, la forme et la permanence.

Les éléments de la matière formés par des condensations d'éther sont, comme nous l'avons montré dans notre précédent ouvrage, d'une petitesse dont nous ne pouvons nous faire aucune idée, parce que nous n'avons pas de point de comparaison. On a fait remarquer qu'une goutte d'eau de mer dont un mètre cube contient moins d'un décigramme d'or, renferme plus de six millions de molécules de ce métal. Si on la touche avec la pointe d'une aiguille, cette pointe sera en contact avec plus d'un millier de molécules d'or.

Malgré leur extrême petitesse, ces molécules sont pourtant des colosses à l'égard des particules qui composent les atomes. Ces dernières exécutent cependant des mouvements tourbillonnaires, vibratoires et rotatoires aussi réguliers que ceux des astres au firmament.

Ils s'en distinguent toutefois en ce que nous pouvons par des moyens divers, la chaleur par exemple, faire varier l'amplitude de leurs mouvements. De ces variations résultent la plupart des propriétés physiques des corps et notamment leur état solide liquide ou gazeux.

Tous ces mouvements, conséquences des forces

gigantesques dont la matière est le siège, malgré son repos apparent, se révèlent surtout à nous, je le répète, par des attractions et des répulsions, c'est pourquoi on a été conduit à rechercher dans de telles actions l'origine de tous les phénomènes.

Ces attractions et répulsions sont réciproques, c'est-à-dire qu'elles agissent comme si un ressort existait entre les deux corps en présence. Si les deux corps sont mobiles, ils s'approchent ou s'éloignent l'un de l'autre. Si l'un d'eux est immobilisé, ce sont les corps mobiles qui se dirigent vers lui ou s'en éloignent.

La distance à laquelle s'exercent les attractions ou répulsions est très limitée. On donne le nom de champ de force à l'espace dans lequel cette action se manifeste. On nomme lignes de force les directions suivant lesquelles se produisent les effets attractifs ou répulsifs. Très faciles à observer dans les phénomènes électriques les champs de force moléculaires dus à d'autres actions peuvent être mis également en évidence par divers artifices, comme nous l'avons montré dans un des chapitres de *l'Évolution de la Matière*.

La plus importante des forces moléculaires est celle à laquelle fut donné le nom de cohésion. L'existence des corps dont l'univers est constitué, est due à son influence. Elle conditionne leurs formes. Sans son action le monde s'évanouirait en une invisible poussière d'éther.

Bien que la cohésion soit une force extrêmement puissante comme le prouve la grandeur des efforts mécaniques qu'il faut réaliser pour séparer les particules des corps, nous possédons dans la chaleur le moyen de l'annuler.

Dès que les molécules sont suffisamment écartées par la chaleur, le corps le plus rigide perd sa consistance et devient liquide ou gazeux. Le fait même qu'il n'y a plus de cohésion dès que les molécules sont

écartées, prouve que les attractions moléculaires produisant la cohésion n'agissent qu'à des distances très petites. Les corps pulvérisés, même très comprimés, ne reprennent pas leur dureté pour cette raison. Si rapprochées que soient leurs particules par la pression, elles ne le sont pas encore assez pour pouvoir s'attirer. Les rapprocher suffisamment exige des pressions énormes. C'est ainsi que Spring a pu former des blocs de bronze, en comprimant énergiquement de la poudre de cuivre mêlée à de la poudre d'étain.

Le simple refroidissement produit les mêmes effets et c'est pourquoi lorsqu'on laisse refroidir un corps fondu il reprend l'état solide. La température constitue un de ces réactifs appropriés dont nous avons eu occasion si souvent de montrer l'importance. Pour séparer des molécules retenues par la cohésion, il faut, comme je le disais plus haut, un effort énorme alors qu'il en faut un relativement assez faible pour les séparer par la chaleur. Il suffit de toucher un corps pour que ses molécules s'écartent un peu.

Rien ne résiste aux forces moléculaires. On fait éclater un obus plein d'eau en le congelant.

La cohésion déjà bien réduite dans les corps liquéfiés disparaît tout à fait dans les corps gazeux. Loin de s'attirer, les molécules des gaz se conduisent — du moins en apparence — comme si elles se repoussaient. C'est ainsi que la plus petite quantité de gaz introduit dans un récipient se répand dans toutes ses parties. Pour comprimer un gaz, c'est-à-dire forcer ses molécules à se rapprocher, il faut exercer sur lui une pression considérable.

Dans les solutions, les molécules des corps dissous se conduisent d'une façon analogue. Elles exercent sur les parois du vase une pression dite osmotique, qui se mesure facilement. On a comparé pour cette raison une solution d'un corps à un gaz.