

et la terre. S'ils étaient transparents pour ces vibrations, un froid très grand régnerait à la surface de notre planète.

Toutes les réactions chimiques qui se passent dans le sein des végétaux, la transformation de l'acide carbonique en carbone, notamment, ont pour origine cette absorption ¹.

Les vibrations de l'éther, absorbées par un corps, peuvent donc être retenues par lui et devenir l'origine de transformations chimiques variées. Elles sont ainsi fixées jusqu'au jour où, décomposant ce corps, c'est-à-dire le ramenant à son état primitif, on les fera reparaitre, sous forme de chaleur. On a là une preuve nouvelle des relations intimes de l'éther avec la matière et des échanges d'énergie dont ils sont le siège.

Si les vibrations de l'éther absorbées par la matière ne servent pas à des transformations chimiques, elles élèvent la température des corps et disparaissent par rayonnement avec une rapidité dépendant de la structure de ces corps ou des substances dont ils sont recouverts. Un vase de métal poli perd lentement sa chaleur, c'est pourquoi on l'emploie pour conserver les liquides à une température élevée. Le même métal, recouvert d'un vernis, perd, au contraire, très vite sa chaleur. Ces faits, connus depuis longtemps, furent

1. Robert Mayer, l'immortel auteur de la théorie de la conservation de l'énergie, eut le premier l'idée de cette corrélation des forces naturelles. Ce petit médecin, si ignoré de ses contemporains, si contesté après sa mort « était, « écrit Tyndall, un homme de génie, animé seulement par l'amour du sujet adopté « par lui et arrivant aux plus importants résultats bien avant ceux dont la vie « est entièrement consacrée à l'étude des sciences physiques ». Si on mesurait l'importance d'un savant aux conséquences de ses œuvres, on pourrait dire que Mayer fut un des cinq ou six plus grands hommes de son siècle. Par la simple application de son principe de la conservation de l'énergie, toutes les sciences physico-chimiques ont été profondément transformées. Seuls, Darwin et Pasteur ont exercé une influence aussi profonde. Malgré son indépendance, Tyndall n'a pas osé reproduire, dans la dernière édition de son livre sur la chaleur, le passage que j'ai cité plus haut. Les professeurs officiels, qui voyaient grandir chaque jour l'importance du principe de la conservation de l'énergie, ne pouvaient accepter qu'une découverte aussi considérable ne fut pas sortie de leurs laboratoires, et réunirent tous leurs efforts pour tâcher de rayer des annales de la

mis en évidence par Leslie, avec son cube plein d'eau bouillante, dont les faces étaient formées de diverses substances. Chacune rayonnait des quantités de chaleur différentes.

Les pouvoirs émissifs et absorbants dépendent donc de la nature et de la surface des corps. Si l'on chauffe au rouge une lame de platine dont une partie a été noircie, on constate que cette partie noircie est celle qui brille le plus.

Tous ces faits trouvent une ébauche d'explication dans le phénomène de la résonance acoustique. Un diapason insensible, aux bruits violents, vibrera s'il est frappé par des ondes sonores de période convenable. Il saura même trier ces ondes sonores dans un mélange de sons très dissemblables. Il est donc sensible aux unes et insensible aux autres. De même pour les corps frappés par la chaleur rayonnante. Ils absorbent seulement certaines vibrations et laissent passer les autres. Nous reviendrons sur ce point dans notre prochain chapitre.

§ 2. — PERMANENCE DU RAYONNEMENT DE LA MATIÈRE

Jusqu'au zéro absolu, la matière envoie sans discontinuer des vibrations dans l'éther. Un bloc de

science le grand nom de Mayer. On aura un exemple curieux de cet état d'esprit en lisant la série d'injures que Tait, professeur de physique à Édimbourg, lui adresse dans son livre : *Les Progrès récents de la Physique*. Tout ce qu'il lui concède, c'est d'être, « par une chance heureuse tombé sur une méthode qui s'est trouvée être bonne. » Chance heureuse, en effet, celle permettant de découvrir un principe que personne n'avait soupçonné et de trouver la valeur numérique de l'équivalent mécanique de la chaleur dont la vérification seule demanda à Joule dix années de recherches et les ressources d'un grand laboratoire. Ce qualificatif de chance heureuse est assez généralement d'ailleurs appliqué à ceux qui découvrent quelque chose. Dans une longue polémique publiée dans une grande revue anglaise, entre un membre de la *Royal Institution* qui défendait mes recherches, et un physicien de Cambridge qui les attaquait, ce dernier déclarait que la dissociation universelle de la matière que j'avais fait connaître était « la plus importante théorie de la physique moderne » ; mais, ajoutait-il, je ne l'avais trouvé que « par une divination heureuse ». Tout le mérite en revenait aux spécialistes ayant fait des mesures pour en contrôler la justesse.

glace peut donc être considéré comme source de chaleur rayonnante au même titre qu'un fragment de charbon incandescent. La seule différence entre eux est dans la quantité rayonnée. Les plaines glacées du pôle sont une source de chaleur rayonnante comme les plaines brûlantes de l'équateur, et si la sensibilité de la plaque photographique n'était pas aussi limitée, elle pourrait, pendant la nuit la plus profonde, reproduire l'image des corps au moyen de leurs propres radiations réfractées par les lentilles d'une chambre noire.

Naturellement, ces radiations que tous les corps émettent constamment n'impressionnent le thermomètre que s'il est plongé dans un milieu plus froid que lui. Si l'instrument, placé d'abord dans un mélange réfrigérant, capable d'abaisser sa colonne au niveau correspondant à 50 degrés au-dessous de zéro, est mis ensuite en présence d'un bloc de glace à zéro, la chaleur rayonnée par ce bloc élèvera de 50 degrés, c'est-à-dire amènera à zéro la température de l'instrument; mais si ce dernier était déjà à la température de la glace, aucun mouvement de la colonne liquide ne révélerait le rayonnement. La glace continuerait à rayonner sur le thermomètre et l'instrument rayonnerait sur elle; mais ils ne feraient qu'échanger leurs radiations. Le rayonnement n'en aurait donc pas moins continué, quoique masqué par cet échange. Quand on dit qu'un corps se refroidit par rayonnement, cela implique nécessairement son séjour dans un milieu de température inférieure à la sienne. Recevant de ce dernier moins de chaleur qu'il ne lui en envoie, sa température s'abaisse jusqu'à ce que celle des deux corps en présence soit égale.

Lorsqu'on est obligé de conserver à basse température un corps destiné à être placé dans un milieu de température supérieure, on l'entoure avec des substances imperméables au rayonnement et dites,

pour cette raison, athermanes. La laine et les fourrures jouissent de cette propriété. Pictet a montré que, pour des températures inférieures à -70° , la plupart des corps athermanes perdent leurs propriétés et deviennent diathermanes. On ne réussit à conserver l'air liquide, qu'en l'enfermant dans des vases à doubles parois, entre lesquelles on fait le vide et dont la surface est argentée. Ces mêmes vases peuvent être employés à garder les liquides très chauds, puisqu'ils empêchent aussi bien l'absorption que l'émission du rayonnement.

3. — ÉMISSIONS ÉLECTRIQUES QUI ACCOMPAGNENT LA CHALEUR.

Nous venons de voir que la matière rayonne et absorbe sans cesse. L'échange entre l'éther et elle ne s'arrête jamais. Les vibrations de l'éther captées par la matière y subissent des transformations variées, au mécanisme ignoré, et dont nous ne percevons que les termes extrêmes.

On n'a pas cessé d'insister dans cet ouvrage et le précédent sur les relations de l'éther avec la matière. Elles apparaissent encore avec les phénomènes électriques accompagnant les variations calorifiques des corps.

Les physiciens ont pressenti depuis longtemps la parenté de la chaleur et de l'électricité et reconnaissent de plus en plus que la production de l'une s'accompagne en même temps de la manifestation de l'autre. Un corps frotté engendre à la fois de la chaleur et de l'électricité. La chaleur qui se propage dans un fil simplement tordu sur lui-même engendre de l'électricité. Une substance, en se combinant avec une autre, peut dégager de la chaleur et aussi de l'électricité.

On sait également que les conductibilités électrique

et calorifique sont sensiblement dans les mêmes rapports pour tous les métaux. Ceux qui conduisent très bien la chaleur conduisent de même l'électricité et inversement. La principale différence réside dans la vitesse de propagation. Immense pour l'électricité, elle est très lente au contraire pour la chaleur.

Si la chaleur se transforme facilement en électricité, cette dernière se transforme non moins facilement en chaleur. Il suffit de faire traverser un fil métallique par un courant, pour le voir rougir plus ou moins suivant sa résistance. En envoyant le courant à travers un fil conducteur, dont une moitié est de platine et l'autre d'argent, le platine est porté au rouge blanc alors que le fil d'argent dix fois plus conducteur, c'est-à-dire offrant moins de résistance au passage de l'électricité, reste obscur.

Les recherches récentes dont j'ai parlé dans mon dernier livre, permettent d'aller beaucoup plus loin encore dans la voie de ces analogies.

On sait maintenant que quand, par un moyen quelconque, un corps est porté à l'incandescence il émet non seulement de la chaleur rayonnante et de la lumière — ce qui d'ailleurs est exactement la même chose — mais en outre des torrents de particules électriques. On est même arrivé à admettre, hypothèse appuyée sur les expériences de Zeemann, qu'une flamme est constituée par des particules électriques en vibration. Les mouvements de ces électrons propagés à l'éther engendreraient la chaleur rayonnante et la lumière. Il serait cependant très possible que le dégagement de particules électriques accompagnant l'incandescence et aussi beaucoup de réactions chimiques ne fût, dans plusieurs cas, qu'un phénomène secondaire, une sorte d'excédent inutilisé des énergies employées à modifier les équilibres de la matière.

Il doit exister entre les énergies intra-moléculaires

et les énergies intra-atomiques une relation constante. Les atomes représentent les pierres avec lesquelles sont bâtis les édifices moléculaires. Dans toutes les opérations de la chimie ordinaire, nous ne faisons que déplacer ces pierres, et c'est sans doute pourquoi l'on retrouve toujours les quantités de chaleur ou d'électricité alors mises en jeu. Lorsque par des moyens divers, très insuffisants encore, nous touchons à la structure des pierres de l'édifice, c'est-à-dire aux atomes, nous les dissociions et libérons sous forme de chaleur, d'électricité, etc., des forces intra-atomiques dont la grandeur peut être sans rapport avec les causes de tels changements.

Tout ce chapitre et celui qui le précède sont, au point de vue des explications, d'une insuffisance évidente. Malgré toutes les formules dont on l'a hérissée, cette région de la physique est extrêmement obscure. Le problème de la chaleur est un des plus difficiles, parce que sa solution implique la connaissance de choses très peu accessibles encore.

CHAPITRE III

Transformation de la matière en lumière.

§ 1. — L'ÉMISSION DE LA LUMIÈRE PAR LA MATIÈRE.

La lumière est produite par des vibrations de la matière propagées sous forme d'ondes dans l'éther. Quand ces ondes possèdent une longueur convenable pour impressionner l'œil, on leur donne le nom de lumière visible. On les qualifie de lumière invisible lorsque la rétine, qui n'est impressionnée que par une faible partie de l'étendue du spectre solaire, reste insensible à leur action.

Qu'il s'agisse de vibrations produisant de la lumière visible ou de celles sans action sur l'œil, c'est-à-dire l'infra-rouge ou l'ultra-violet, ces vibrations sont de même espèce, ne diffèrent que par leur fréquence et méritent le même nom de lumière.

De cette définition générale de la lumière, la seule qui s'accorde avec les données de la science actuelle, une première conséquence découle. Nous devons donner le nom de lumière aux radiations visibles ou invisibles émises par la matière à toutes les températures, jusqu'au zéro absolu, comme nous l'avons fait voir en étudiant la chaleur rayonnante.

La matière engendre donc de la lumière à toutes les températures. Un œil à rétine suffisamment sensible verrait dans l'obscurité tous les objets entourés d'une

auréole lumineuse, et les ténèbres lui seraient inconnues. Cet œil n'existe pas peut-être, mais divers instruments, tels que le bolomètre, permettent de le remplacer.

Examinons maintenant quelques-unes des conditions de transformation de la matière en lumière.

Quand on chauffe un corps, les vibrations de ses particules deviennent plus rapides et son émission d'ondes éthérées s'accroît. Ces ondes, d'abord trop longues pour être perçues, sont assez courtes vers 500 degrés pour devenir visibles et donner la sensation du rouge. De 800 à 1.000 degrés, des ondes plus courtes encore apparaissent et les radiations émises comprennent toute l'étendue du spectre. Je serais assez porté à croire, d'après certaines expériences encore incomplètes, qu'à toutes les températures les corps émettent des radiations comprenant l'étendue complète du spectre. Leur faible amplitude empêche seule de les apercevoir. La température agirait surtout en augmentant l'amplitude des ondes émises, condition nécessaire pour qu'elles soient visibles.

A chaque température, le corps échauffé émet des ondes de longueurs très différentes, suivant sa nature. L'éclat des flammes dépendant, à température égale, du rapport existant entre les grandes et les petites longueurs d'onde émises par les corps incandescents, ceux qui émettent davantage des secondes que des premières sont les plus lumineux.

L'éclat des becs Auer est précisément dû à la faiblesse de leur pouvoir émissif dans le rouge et l'infra-rouge, comparé à leur puissance d'émission dans le spectre visible. La température (1.650 à 1.700 degrés environ) n'y diffère pas notablement de celle d'un simple bec de gaz ordinaire.

Il n'y aurait pas d'intérêt au point de vue de l'éclat de la lumière à trop élever la température d'un corps, parce qu'alors on produirait, cas de l'arc élec-

trique, des radiations ultra-violettes invisibles. A mesure, en effet, que la température d'une source lumineuse augmente, les radiations qu'elle émet se déplacent vers l'ultra-violet.

De la structure des corps matériels dépend, pour des raisons inconnues, leur pouvoir d'émettre des radiations diverses pour une même température. A 1.650 degrés le manchon d'un bec Auer imbibé d'une solution d'oxyde de thorium contenant 1 % d'oxyde de cérium, émet beaucoup de radiations visibles brillantes et relativement assez peu d'invisibles. Si l'on modifie le rapport entre les deux oxydes, on voit se modifier également celui des ondes émises à la même température. Les radiations visibles diminuent et les radiations invisibles augmentent. Ces dernières produisant beaucoup de chaleur, on a songé à utiliser les becs à incandescence pour le chauffage, simplement en modifiant le rapport des oxydes dont sont imbibés les manchons. On obtient ainsi des becs très peu lumineux, mais donnant beaucoup de chaleur, alors que ceux employés pour l'éclairage donnent, au contraire, beaucoup de lumière et peu de chaleur.

Le rayonnement des corps engendré par l'échauffement est produit par toutes les actions capables d'accroître leurs vibrations, les réactions chimiques, notamment; ces dernières constituaient autrefois les seules sources connues

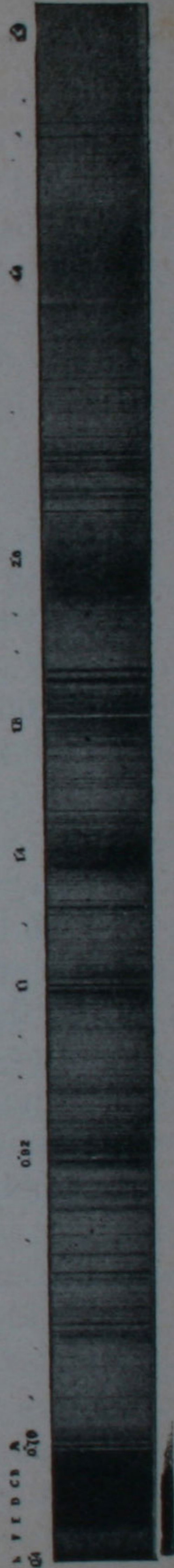


FIG. 13. — Spectre solaire d'après Langley. Il va de 0 μ , 4 jusque au delà de 5 μ . (La petite bande foncée à gauche de A à h est la seule partie visible. Tout le reste est constitué par des radiations invisibles.)

d'éclairage. Comme type, on peut citer la combustion du gaz ordinaire. Formé par un mélange d'hydrogène et de carbures d'hydrogène, il se combine violemment avec l'oxygène de l'air quand on l'allume. Les particules de carbone des carbures étant mises en liberté et portées à l'incandescence donnent à la flamme un éclat que l'hydrogène pur ne possède pas. Le gaz d'éclairage ne doit le sien qu'à ces particules incandescentes en suspension; un corps solide quelconque, du platine par exemple, pourrait les remplacer.

En réalité, les phénomènes qui se passent dans une flamme, telle que celle du gaz ou d'une simple bougie, sont d'une complication très grande. Ils le sont même assez pour qu'on puisse considérer un corps en combustion comme un des phénomènes les plus difficiles à interpréter de la physique. Il comporte la solution, à peine entrevue, d'un grand nombre de problèmes relatifs à la dissociation de la matière. Toute incandescence s'accompagne, en effet, du dégagement d'un torrent de particules électriques, comparable aux rayons cathodiques ou aux émissions du radium. Ce dégagement implique nécessairement un commencement de désagrégation de l'atome. Elle était autrefois ignorée, parce que la provision d'énergie contenue dans la matière est tellement immense que la perte subie pendant la combustion passait inaperçue.

Cette dissociation de l'atome dans la flamme a été mise en évidence non seulement par la production des particules électriques provenant de la dissociation, mais encore par la déviation des électrons des flammes dans un champ magnétique; elle a pour conséquence le dédoublement des raies spectrales de la flamme sur laquelle le champ magnétique agit.

§ 2. — ROLES RESPECTIFS DE LA LONGUEUR D'ONDE
ET DE SON AMPLITUDE DANS LES ACTIONS DE LA LUMIÈRE.

Un corps jeté dans l'eau détermine à sa surface une série d'ondes circulaires concentriques comparables à de petites collines parallèles séparées par des vallées. La distance du sommet d'une colline à l'autre s'appelle la longueur d'onde, la hauteur de chaque colline au-dessus du fond de la vallée représente l'amplitude de l'onde. Il en est de même, on le sait, pour la lumière, avec cette seule différence que les ondulations se font dans l'éther au lieu de se produire dans un liquide.

La longueur d'onde et sa hauteur constituent deux choses très différentes à bien séparer, si l'on veut comprendre certaines actions de la lumière.

Qu'il s'agisse du son, de la lumière ou de toute perturbation périodique d'un fluide quelconque, la longueur d'onde est un élément de grandeur invariable pendant tout le temps d'une vibration, alors que son amplitude peut varier dans des limites étendues. Les ondes perdent de leur amplitude en se propageant, mais leur longueur et, par conséquent, le nombre de vibrations par seconde reste le même. L'analogie avec les oscillations du pendule est complète. Que l'on écarte peu ou beaucoup un pendule de la verticale, le chemin qu'il parcourra dans sa trajectoire oscillante sera très court ou très long, mais le temps employé pour le parcourir sera invariable et ne dépendra que de la longueur du pendule.

Quel est le rôle de ces deux éléments, la longueur d'onde et son amplitude? En ce qui concerne le pendule, la force vive de sa masse croît avec l'amplitude de ses vibrations. Pour le son, la longueur

d'onde détermine la hauteur d'une note donnée, alors que l'amplitude détermine l'intensité de cette note. Pour la lumière, les ondulations de l'éther donnent, suivant leur longueur, des notes que nous nommons bleu, rouge, vert, etc. Cette longueur est rigoureusement invariable pour chaque note; mais l'intensité qu'elles produisent, c'est-à-dire l'éclat, peut varier dans d'énormes proportions avec l'amplitude des ondes émises par exemple de 1 à 1 million, entre 600 et 1.800 degrés, pour les radiations rouges, d'après les mesures de M. Lechatelier. L'intensité d'une radiation pourra donc la faire osciller entre l'obscurité presque complète et un éclat éblouissant, sans que la longueur d'onde éprouve aucun changement.

En dehors de la température, divers moyens existent d'augmenter ou de réduire l'amplitude des ondes éthérées, par conséquent l'intensité d'un faisceau lumineux. Il suffit de le concentrer ou, au contraire, de le disperser au moyen de lentilles de formes convenables.

L'intensité d'une note ou d'une couleur est donc très variable, mais la longueur des ondes qui produisent cette note ou cette couleur reste absolument la même pendant toute la durée des vibrations.

L'œil et l'oreille ne sont pas organisés de façon à accumuler les impressions. Une couleur ou une note d'intensité donnée produiront toujours le même effet, quelle que soit la durée de leur action.

Il en est autrement pour certains réactifs, la plaque photographique par exemple, capables d'accumuler les impressions. On peut alors, avec une intensité très faible, mais prolongée, produire des effets identiques à ceux obtenus par une intensité très grande, agissant pendant un temps très court. La possibilité de cette accumulation m'a permis de photographier des corps doués de phosphorescence invisible pour l'œil, simplement parce que l'amplitude des vibra-

tions lumineuses émises était trop faible pour impressionner la rétine.

La plaque sensible voit les radiations émises parce qu'elle peut les accumuler. Pour cette raison elle peut photographier des étoiles que l'œil ne voit pas, à cause de l'amplitude trop faible des radiations qu'elles émettent. La sensibilité de la rétine est cependant énormément supérieure à celle de la plaque photographique. L'œil est pour la lumière comme l'oreille pour le son. Il existe de la lumière obscure et du son silencieux, que l'œil et l'oreille ne perçoivent pas, mais que peuvent révéler des réactifs convenables.

Se basant sur ce que les étoiles, qui sont à la limite de la visibilité, exigent une heure de pose pour être photographiées, Deslandres fait remarquer que « le rapport entre les sensibilités de l'œil et de la plaque photographique serait le rapport entre 1/10^e de seconde et 1 heure, soit 1/36.000 ».

Quel que soit le réactif employé : rétine, plaque photographique, composé chimique, il y a toujours un minimum d'amplitude, variable pour chacun d'eux, au-dessous duquel la lumière est sans action. M. Berthelot a fait observer que l'oxydation du sulfure de carbone, qui se fait en quelques heures au soleil, ne s'effectue jamais à la lumière diffuse, même au bout d'une année. Pour d'autres réactions, telles que la combinaison du chlore et de l'hydrogène, l'intensité lumineuse peut, au contraire, être extrêmement faible. Ce sont là des phénomènes dont on ne tient pas toujours compte, mais il faut les connaître pour comprendre les effets de la lumière. C'est parce qu'ils ont été méconnus que les variations de certaines fonctions des végétaux, dans les diverses régions du spectre, donnèrent lieu, comme nous le verrons, à tant d'interprétations contradictoires.

§ 3. — LE SPECTRE INVISIBLE.

Les recherches effectuées dans ces dernières années ont prouvé que le spectre invisible de la lumière solaire était beaucoup plus étendu que son spectre visible. Alors que ce dernier va seulement de $0\mu,40$ à $0\mu,80$, le spectre invisible va un peu au delà de 5μ , d'après les recherches de Langley¹, c'est-à-dire est environ douze fois plus long que le premier. Le spectre invisible des lumières artificielles est beaucoup plus étendu encore, puisqu'il va, d'après Rubens, jusqu'à 60μ .

Les gravures du spectre solaire publiées dans les traités de physique en donnent une idée très fautive. Non seulement elles ne reproduisent que sa région visible, mais la répartition des couleurs y est très inexacte, parce que les spectres prismatiques ayant servi de modèle réduisent quatre ou cinq fois l'étendue du rouge et exagèrent beaucoup celle du violet.

La répartition des couleurs n'est exacte qu'avec

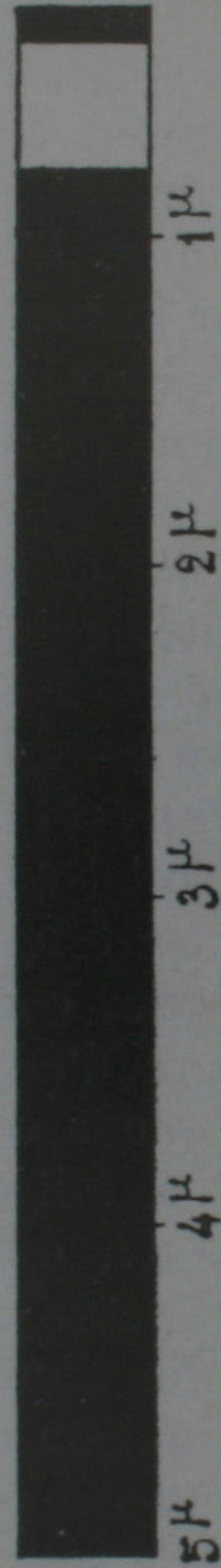


FIG. 14. — Proportion des radiations visibles et invisibles dans un spectre solaire normal.

La grande bande noire à gauche représente la région infra-rouge invisible, elle va jusqu'à un peu plus de 5μ , d'après les dernières mesures. La petite bande blanche représente la portion visible du spectre. Elle a environ 12 fois moins d'étendue que la précédente. La mince bande noire à droite représente la région ultra-violette invisible.

1. L'instrument employé par Langley était le bolomètre, qui permet de mesurer le cent millionième de degré. Il est basé sur ce fait, qu'en échauffant un corps conducteur on accroît sa résistance électrique. Si on fait tomber des radiations d'intensités diverses sur le fil microscopique constituant la partie essentielle de l'instrument, sa résistance électrique varie. Elle est mesurée par les moyens connus.

les spectres de diffraction obtenus au moyen de réseaux. La distance entre les raies y étant proportionnelle à la longueur d'onde, le rouge occupe une étendue beaucoup plus considérable que dans les spectres prismatiques.

C'est précisément l'emploi des prismes pour produire les spectres qui conduisit à interpréter assez inexactement la position du maximum de l'énergie calorifique. On le plaçait autrefois dans l'infra-rouge. On sait aujourd'hui qu'il se trouve dans la partie lumineuse du spectre ; mais comme, à l'égard de la longueur totale de ce dernier, la région visible est très peu étendue, il s'ensuit que l'énergie calorifique totale est beaucoup plus grande dans l'infra-rouge invisible. Suivant les dernières mesures de Langley, le spectre solaire visible ne contiendrait que le cinquième de l'énergie calorifique de la région infra-rouge. La région invisible du spectre constitue donc la portion la plus importante de la lumière. Seule, la sensibilité de l'œil crée la limite entre les parties visibles et invisibles du spectre. Elle n'est pas, sans doute, la même pour tous les animaux.

Cette immense région invisible du spectre où se trouve la plus grande partie de son énergie doit jouer dans les phénomènes de la vie végétale et dans ceux de la météorologie un rôle très important, quoique à peine soupçonné. On ne connaît encore de ses propriétés que les actions calorifiques. Ses variations jouent probablement un rôle considérable dans les saisons. Langley a reconnu que le spectre solaire changeait aux diverses périodes de l'année et que la distribution de son énergie n'était pas la même aux différentes saisons.

La proportion d'un cinquième de la radiation solaire, qui apparaît sous forme de lumière visible, semble faible au premier abord. Elle est en réalité très grande, si on la compare à celle des lumières artificielles.

D'après les recherches récentes de Wedding (1905), toutes les sources artificielles de lumière, y compris l'arc électrique, n'utiliseraient pas plus de 1 % des

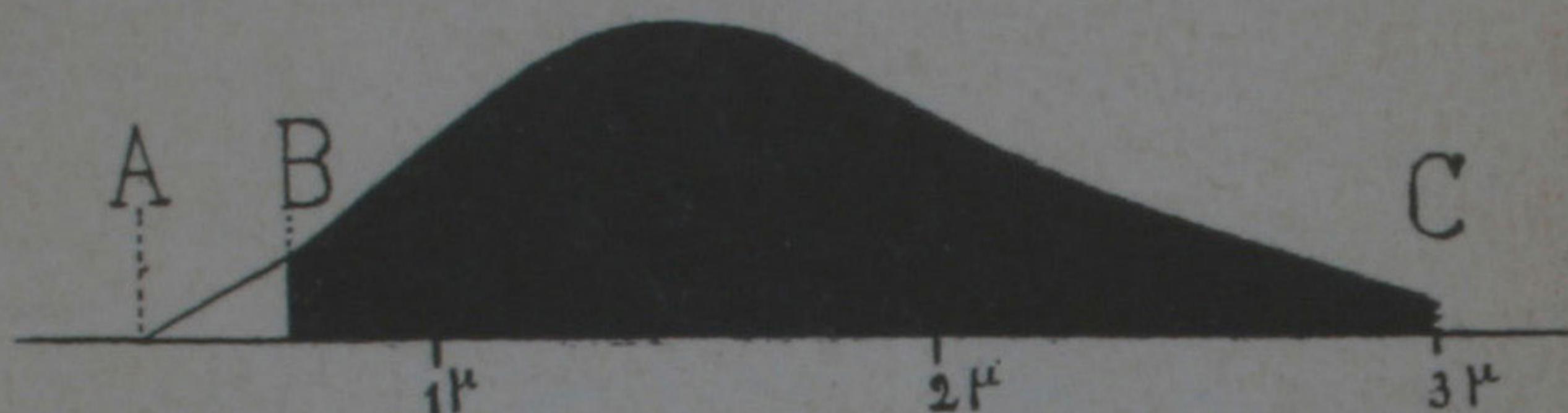


FIG. 15. — *Distribution de l'énergie visible et invisible dans la lumière de l'arc électrique.*

Toute la partie teintée en noir représente l'énergie inutilisée d'après Langley. La partie blanche A B est la seule utilisée dans l'éclairage. La graduation s'arrête à 3 μ. — Pour rendre la figure tout à fait exacte, il aurait fallu la prolonger à droite considérablement.

radiations produites, 99 % des radiations émises seraient donc invisibles¹.

Bien que ces chiffres varient avec les observateurs, il n'en est aucun qui ait trouvé une perte inférieure à 90 %. Si donc on évalue à 3 ou 400 millions, ainsi qu'on l'a fait, la dépense annuelle d'un grand pays comme l'Angleterre pour son éclairage artificiel, on voit que la découverte du moyen de transformer l'énergie calorifique invisible et perdue en lumière visible économiserait environ 300 millions annuellement pour un seul pays.

Le problème n'apparaît pas du tout comme insoluble, puisque la nature a trouvé sa solution. La

1. Ces chiffres ont notablement varié, suivant les observateurs. Chwolson donne 10 % pour la partie utilisable de l'arc électrique et 4 % pour le gaz. S. Thomson (*The manufacture of Light*, 1906), adopte le chiffre de 1 % seulement d'énergie utilisée résultant des recherches récentes de Wedding.

lumière des animaux phosphorescents se compose presque exclusivement des rayons appartenant à la région visible du spectre. Tous les corps phosphorescents produisent également de la lumière sans échauffement préalable. Il est probable que ce sont alors des énergies atomiques qui entrent en jeu et non des ébranlements moléculaires, comme dans le cas de l'incandescence. Nous reviendrons sur ce point en étudiant la phosphorescence des gaz dans un autre chapitre.

§ 4. — LA RÉPARTITION DE L'ÉNERGIE DANS LE SPECTRE

La répartition de l'énergie dans les diverses régions du spectre a été l'objet de nombreuses recherches. Elles n'ont pas conduit cependant à des résultats très utiles, précisément parce que pour une température uniforme l'intensité des diverses radiations varie beaucoup suivant les sources lumineuses. Nous avons vu, par exemple, que la répartition de l'énergie dans le spectre d'un bec de gaz et d'un bec Auer était fort différente, bien que leur température fut presque identique.

Il n'y a pas davantage à tirer parti des recherches publiées sur la répartition de l'énergie dans le spectre solaire en raison de la variation très grande qu'il éprouve dans l'infra-rouge suivant les jours, les heures, l'altitude, l'absorption exercée par la quantité plus ou moins grande de vapeur d'eau atmosphérique, etc.

Toutes les anciennes mesures d'énergie dans le spectre étaient, je l'ai dit, affectées d'une erreur due à l'emploi du prisme pour séparer les diverses radia-

tions. Le prisme ramassant les radiations dans l'infra-rouge et les étalant considérablement à l'autre extrémité du spectre, il était naturel que la chaleur fût très élevée dans la partie où les radiations étaient les plus condensées. On vit donc dans l'infra-rouge la partie la plus chaude du spectre solaire. Cette erreur et la courbe qui la traduit traînent encore dans la plupart des traités de physique élémentaire.

Aucune partie du spectre n'est dépourvue en réalité d'action calorifique, comme les physiciens le crurent longtemps. Il suffirait de donner à une radiation quelconque une intensité suffisante pour lui faire produire toutes les actions calorifiques voulues.

Indépendamment des causes d'erreur que je viens d'énumérer, il en est une beaucoup plus grave encore et qui touche au principe même des méthodes.

Les physiciens ont été conduits à mesurer l'énergie dans le spectre, uniquement en évaluant les actions calorifiques de ses diverses parties. M. Jamin montre très bien dans le passage suivant le processus mental de cette conception :

« On a supposé autrefois que trois agents distincts émanaient du soleil, la chaleur, la lumière et les rayons chimiques, et que chacun d'eux donnait lieu à un spectre partiellement superposé aux deux autres, mais distinct dans sa nature autant que dans ses propriétés. Mais on a été conduit par la force des choses à rejeter cette hypothèse compliquée parce que tous les procédés se montraient impuissants à réaliser pratiquement la séparation supposée possible en théorie. Tout le monde admet aujourd'hui que le soleil envoie des vibrations qui sont toutes de même nature, qui ne se distinguent que par leur longueur d'onde. Ces actions diverses (lumineuses, chimiques, calorifiques), s'exécutent toutes aux dé-

pens de l'énergie des vibrations, mais l'action calorifique en fournit la seule mesure rationnelle¹. »

Ce procédé de mesure ne fut pas appliqué uniquement à la lumière, mais à toutes les formes d'énergie. Il est déduit de l'idée que tous les modes d'énergie pouvant se transformer en chaleur, sont mesurables par leurs effets calorifiques évalués en calories ou en kilogrammètres, par conséquent équivalents.

En ne considérant que la chaleur dans le spectre, on est naturellement amené à lui attribuer toutes les actions observées. C'est justement ce que fait l'auteur cité plus haut. « C'est aux dépens de l'énergie calorifique disponible des radiations, dit-il, que se produisent, soit l'impression lumineuse sur la rétine, soit l'impression photographique. »

S'il en était bien ainsi, les rayons pouvant produire le maximum de chaleur devraient le mieux agir sur la plaque photographique et sur l'œil. Or, c'est justement le contraire qui se produit.

On n'observe pas seulement dans les actions photographiques le défaut de parallélisme entre l'intensité calorifique et les effets observés. Il est même frappant de voir dans l'ultra-violet, aux actions calorifiques presque nulles, certains effets tels que la dissociation de la matière se produire d'une façon très énergique, alors qu'ils sont insignifiants dans les parties les plus chaudes du spectre.

On doit en conclure que les diverses régions du spectre possèdent des actions n'ayant pas de commune mesure. La répartition de l'énergie sera très différente, suivant les réactifs employés, œil, plaque photographique, thermomètre, électromètre. Ceux fortement impressionnés par une certaine radiation sont muets devant une autre. Il faut, en réalité, une courbe pour chacun d'eux et ne pas prétendre déter-

1. *Physique*, t. III, 3^e partie, p. 100, 4^e édition.

miner l'énergie spectrale avec un seul comme on l'a fait jusqu'ici.

§ 4. — L'ABSORPTION DE LA LUMIÈRE PAR LA MATIÈRE.

A sa propriété d'émettre des radiations lumineuses la matière joint celle de pouvoir les absorber ou de se laisser traverser par elles. Il y a ainsi un échange permanent entre la matière et l'éther que nous avons souvent signalé.

Un corps se laissant traverser par la lumière sans lui faire éprouver de modification sensible, est dit transparent. On le qualifie d'opaque dans le cas contraire.

Les idées sur la transparence et l'opacité se sont très modifiées dans ces dernières années. On sait aujourd'hui qu'il n'y a pas de corps entièrement transparent pour toutes les radiations. Une lame de verre de $1/10^e$ de millimètre d'épaisseur, complètement transparente pour l'œil est cependant absolument opaque pour toute l'extrémité ultra-violette du spectre et pour une partie notable de l'infra-rouge.

La transparence est toujours sélective et par conséquent jamais complète. S'il existait un corps entièrement transparent, il pourrait être exposé à la source de chaleur la plus intense sans s'échauffer puisqu'il n'absorberait aucune radiation. L'élévation de température d'un corps soumis à un rayonnement n'est due en effet qu'à l'absorption de radiations qui n'ont aucune température par elles-mêmes.

Plus l'opacité du corps est grande, plus il absorbe et s'échauffe, sauf naturellement le cas où par suite du poli de sa surface il renvoie dans l'espace les vibrations de l'éther qui l'atteignent.

On essaie maintenant, comme je l'ai dit déjà,

d'expliquer la transparence et l'opacité des corps par un phénomène analogue à celui de la résonance acoustique. Il nous suffira de modifier légèrement la théorie actuelle pour montrer qu'elles sont les conséquences d'une même loi. La matière peut être considérée comme composée de petits diapasons moléculaires capables, de même que les diapasons ordinaires, de vibrer pour certaines notes, mais non pas pour d'autres. Frappés par les vibrations de l'éther, ils vibrent suivant leur structure, à l'unisson de certaines notes lumineuses et ne sont pas impressionnés par les autres. La radiation qui les fait vibrer, reste à la sortie du corps transparent identique à ce qu'elle était à l'entrée n'ayant subi dans ce cas d'autres modifications qu'un ralentissement de vitesse, par suite sans doute du temps nécessaire pour augmenter les vibrations des atomes.

Les corps opaques seraient constitués au contraire d'éléments ne pouvant vibrer à l'unisson des vibrations qui les frappent. Ils pourraient seulement émettre des vibrations irrégulières s'évanouissant aussitôt en se transmettant aux molécules voisines. Des mouvements de ces dernières résulterait l'échauffement des corps frappés par la lumière. L'absorption serait donc un véritable transfert du mouvement de l'éther aux corps qui y sont plongés.

Quand une substance est transparente pour une radiation et opaque pour une autre, ce qui est le cas général, ses molécules vibrent à l'unisson des vibrations qui les traversent et absorbent les autres. Un verre rouge ou bleu possède cette couleur parce qu'il ne peut laisser passer que les radiations du spectre correspondant au bleu ou au rouge et retient les autres.

Cette théorie n'est soutenable qu'en supposant les molécules des corps déjà animés de mouvements rapides que les vibrations de l'éther ne feraient qu'o

rienter. Il serait tout à fait impossible autrement de supposer que les vibrations de l'éther donnent aux atomes, la somme énorme d'énergie nécessaire pour les faire osciller avec la rapidité de la lumière.

D'après ce qui précède, la différence entre un corps transparent et un corps opaque résiderait uniquement dans la nature des vibrations qu'ils émettent. Les vibrations incidentes traversent le corps transparent en faisant vibrer sur leur passage les atomes de la matière à l'unisson du rayon incident. Elles feraient vibrer également les atomes du corps opaque, mais se diffuseraient dans sa masse. Dans les deux cas, l'énergie lumineuse ayant frappé une face d'une lame opaque ou transparente reparait nécessairement sur l'autre. Dans le cas de la transparence, le rayon est à la sortie ce qu'il était à son entrée; dans celui de l'opacité, la lame s'échauffe, puis émet en tous sens — et non plus dans une seule direction — des radiations dont la longueur d'onde est très différente de celles ayant frappé l'autre face. Alors que la lumière ne modifie pas la température d'un corps transparent, elle élève au contraire celle d'un corps opaque.

Si l'amplitude des ondes lumineuses qui ont frappé un corps opaque est assez grande, ses molécules peuvent être suffisamment écartées pour le faire passer à l'état liquide ou gazeux.

L'absorption de la lumière par la matière est en relation étroite avec la structure de cette dernière. Les modifications produites par ses changements permettent de déterminer la composition des corps. Elles sont constatées facilement en interposant la substance à examiner entre une source lumineuse et le prisme d'un spectroscope. Beaucoup de liquides très transparents pour l'œil, présentent des bandes d'absorption variant avec les moindres changements de leur composition. Des traces d'impuretés sont ainsi facile-

ment reconnues. Il est possible, par exemple, de découvrir la présence de $1/30.000$ de pyridine dans de l'ammoniaque.

Les gaz sont très absorbants pour certaines radiations et peu pour d'autres. Ceux de l'atmosphère absorbent totalement tout l'ultra-violet, à partir de 0μ , 295 et la totalité de l'infra-rouge dépassant 5μ . L'ozone de l'atmosphère se montre également très absorbant pour l'ultra-violet et peut-être doit-on à son excès momentané la disparition accidentelle de cette région à partir de la raie M que j'ai constatée dans mes expériences.

Il est assez difficile dans la théorie de la transparence par résonance donnée plus haut, de comprendre qu'un même corps puisse être transparent ou opaque pour des régions situées aux deux extrémités opposées du spectre. Tel le verre à vitre par exemple. Il est tout à fait opaque, non seulement pour l'ultra-violet mais encore pour toute la région infra-rouge au delà de 2 à 3μ , et par conséquent pour les radiations calorifiques émises par les corps chauffés à 100 degrés ou au-dessous.

Cette transparence partielle de la matière pour les vibrations lumineuses de l'éther est à rapprocher de sa transparence complète pour les lignes de force électriques ou magnétiques précédemment signalée. Ces dernières sont composées elles aussi d'éther mais sous une forme inconnue. Ce sont les seuls éléments dont la matière ne puisse entraver la marche. Pourquoi laisse-t-elle passer l'éther sous une forme et non pas sous une autre ? Nous ne pouvons donner aucune réponse à cette question.

§ 5. — LES ACTIONS CHIMIQUES ET PHOTOGRAPHIQUES
DE LA LUMIÈRE.

Lorsque les vibrations de l'éther produites par l'échauffement de la matière rencontrent un corps, elles produisent des effets variés qu'on peut diviser en trois classes :

1° *Actions mécaniques.* C'est la pression qu'exerce l'énergie radiante. Étant très faible, on ne peut la mettre en évidence que par des instruments fort sensibles. Son intensité suffit cependant pour annuler, dans certain cas, la pesanteur. On attribue à son influence la déformation des comètes ;

2° *Actions dissociantes sur les atomes de la matière.* Elles sont mises en évidence par les recherches exposées dans mon précédent ouvrage et sur lesquelles je reviendrai dans un prochain chapitre ;

3° *Actions chimiques.* Comprennent des réactions très diverses (oxydation, réduction, etc.) utilisées dans la photographie.

De ces différentes actions je n'étudierai maintenant que certains effets particuliers relatifs à la photographie, observés au cours de mes recherches.

Étant donné que les particules électriques des rayons cathodiques et des corps radio-actifs impressionnent la plaque photographique, on pourrait être tenté d'attribuer la formation de l'image latente produite par la lumière à une sorte d'ionisation du gélatino-bromure d'argent. J'ai jadis songé à cette hypothèse, mais elle a contre elle les deux faits suivants : 1° Il est impossible d'observer aucune radio-activité pendant l'exposition de la plaque photographique à la lumière ; 2° les rayons bleus qui agissent principalement sur la plaque photographique ne sont pas

du tout les agents les plus actifs de la dissociation de la matière.

En poursuivant cette étude, je fus conduit à rechercher quelles sont les radiations dont l'action est la plus grande dans l'impression photographique.

Afin de les mettre en évidence, j'ai exposé derrière un spectroscope une plaque photographique et recherché dans quelle région commençait l'impression. Elle débute toujours dans le bleu et jamais dans le violet ou l'ultra-violet.

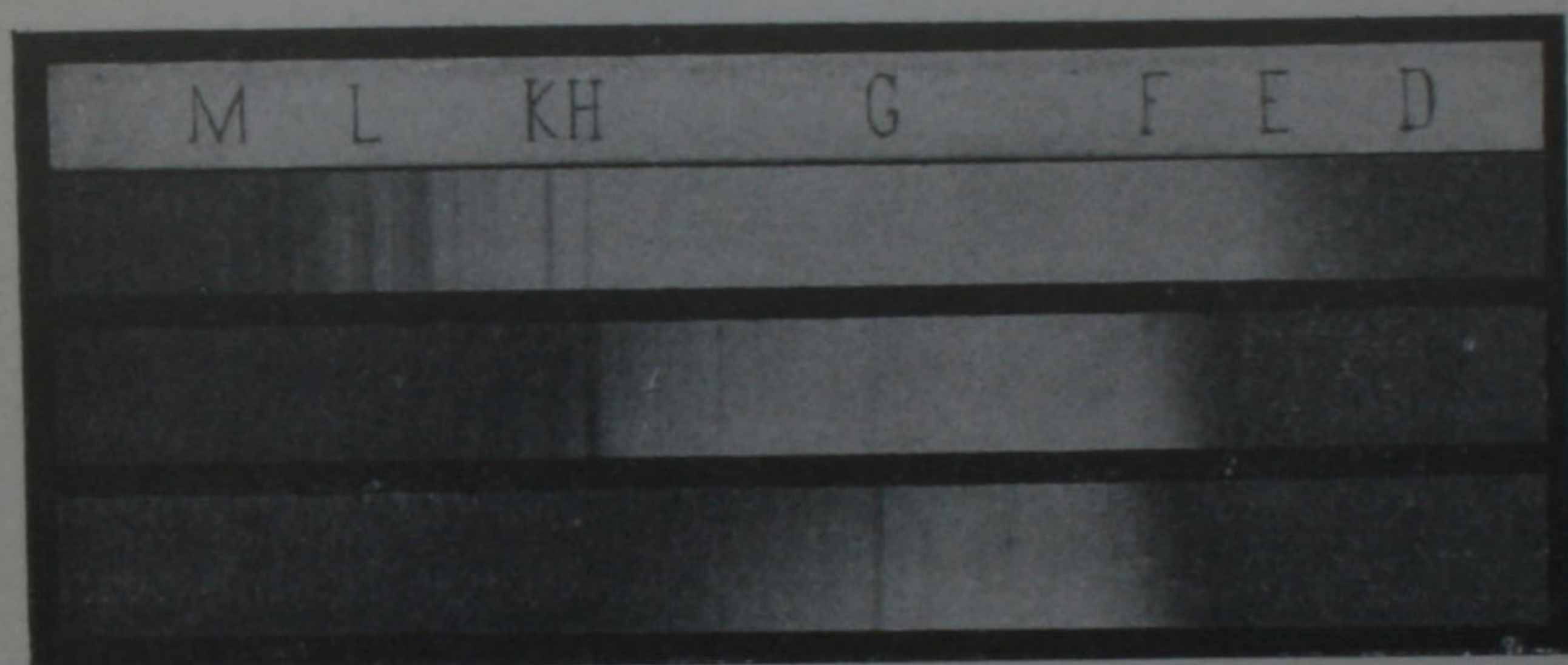


FIG. 16. — Photographies de spectres solaires destinées à montrer la variation des rayons visibles utilisés suivant la durée de la pose.

Le spectre inférieur a été obtenu avec $1/10^e$ de seconde de pose. Il n'y a d'impression que dans le bleu. Les rayons bleus sont donc les seuls utilisés dans la photographie instantanée. Les deux spectres placés au-dessus ont été obtenus avec des poses de plus en plus prolongées. Le spectre supérieur s'étend assez loin dans l'ultra-violet. En prolongeant encore la pose, nous avons obtenu l'impression jusqu'au rouge avec des plaques ordinaires, mais le reste de la photographie est alors inutilisable.

Bien que les prismes en verre d'Iéna de mes spectroscopes laissent passer presque tout l'ultra-violet solaire, ils en absorbent cependant une partie et on pouvait objecter aux expériences précédentes que la faible action du violet et de l'ultra-violet résulterait de cette absorption. J'ai donc prié M. de Watterville, possesseur d'un grand spectroscope à prismes de quartz, matière très transparente pour l'ultra-violet, de répéter mes expériences avec son instrument.

Elles ont donné des résultats identiques à ceux exposés plus haut. L'impression commence toujours dans le bleu et ne se propage que quelque temps après dans l'ultra-violet. On peut en conclure que l'usage d'objectifs de quartz ou de verres très transparents pour l'ultra-violet ne présenterait aucun avantage pour la photographie instantanée.

Il serait beaucoup plus intéressant d'augmenter la sensibilité des plaques pour les diverses régions du spectre. La partie utilisée en photographie ne représente qu'une bien faible partie du spectre solaire qui va de 5μ à 0μ , 295 en y comprenant les rayons visibles et invisibles. La partie visible s'étend seulement de 0μ , 4 à 0μ , 8. Même en ne tenant compte que du spectre visible, on voit que la plaque photographique n'en utilise qu'une minime portion.

Sans doute on sait rendre, par des moyens divers, les plaques un peu sensibles jusqu'au rouge, mais cette sensibilité est très illusoire car il faut toujours d'énormes différences de pose pour obtenir des images avec la lumière bleue, la lumière verte et la lumière rouge. Le seul avantage réel des plaques dites orthochromatiques est d'être moins sensibles pour le bleu que les plaques ordinaires. Le même résultat est obtenu en plaçant simplement devant l'objectif un verre jaune. Avec une plaque quelconque, on obtient dans toutes les régions visibles du spectre une impression aussi intense qu'on le voudra en prolongeant suffisamment la pose. Un paysage peut être très bien photographié à travers un verre rouge.

C'est cette différence de rapidité d'action des diverses radiations lumineuses qui change toutes les valeurs dans la reproduction photographique des paysages. On annule un peu les écarts en prolongeant la pose de façon à laisser aux rayons faiblement actiniques le temps d'agir, mais alors intervient bientôt le phénomène de l'irradiation consistant en ceci que

chaque partie impressionnée agit comme centre lumineux sur les régions voisines, non seulement directement mais par sa réflexion sur la face postérieure du verre. J'ai fait pas mal d'expériences sur ce sujet et constaté qu'avec des poses suffisamment

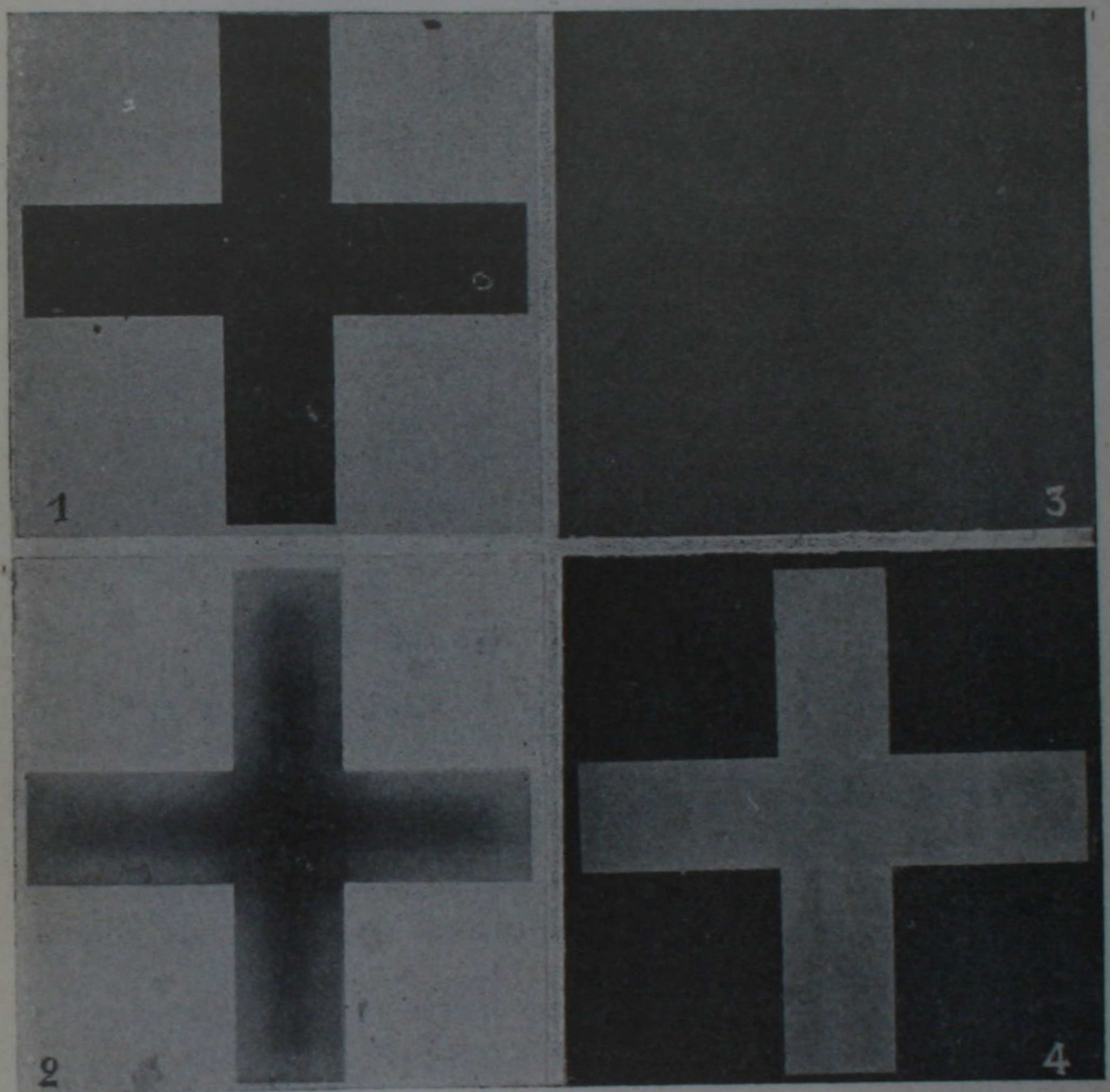


FIG. 17 à 20. — Variations des images obtenues avec une croix métallique par suite de l'irradiation et de l'inversion.

Une croix d'étain est collée sur une feuille de verre et une plaque photographique mise dans un châssis sous cet écran en contact avec l'étain. Le système est exposé ensuite à la lumière d'une lampe. En faisant varier uniquement la durée de la pose (entre une seconde et cinq minutes), on obtiendra : 1° l'image en blanc de la croix (Image noire par conséquent sur l'épreuve positive) ; 2° la propagation de l'impression sous la croix métallique ; 3° la disparition presque complète de l'image ; 4° l'image en noir de la croix comme si le métal avait été traversé. Ces effets si différents sont dus aux actions combinées de l'irradiation et de l'inversion.

longues l'impression peut se propager jusqu'à un demi-centimètre de la région atteinte par la lumière. La photographie de lignes très fines est fort difficile pour cette raison. On a vainement tenté de reproduire de cette façon les réseaux gravés au diamant employés dans certains procédés.

Je vais résumer pour les lecteurs s'occupant de photographie les expériences que j'ai réalisées — avec le spectroscopie décrit dans un autre chapitre — pour rechercher les régions du spectre qui impressionnent les plaques photographiques suivant la durée de la pose, la nature des plaques employées et les verres de couleur placés devant l'objectif.

Portions du spectre solaire utilisées en photographie suivant la durée de la pose avec les plaques ordinaires et celles dites orthochromatiques (fig. 16).

1° *Plaques ordinaires rapides.*

Pose instantanée : l'impression va de F jusqu'au milieu de l'intervalle entre H et G.

2 secondes de pose : l'image s'étend jusqu'à K d'un côté et jusque dans le voisinage de E de l'autre côté.

15 secondes de pose : l'impression se prolonge au delà de L du côté de l'ultra-violet, et s'étend presque jusqu'à D du côté du rouge.

Il suffit donc de faire poser un temps assez long une plaque ordinaire pour qu'elle soit impressionnée par les rayons les moins actiniques.

A mesure que la pose s'exagère, l'intensité de l'impression s'accroît entre H et E, et beaucoup moins rapidement de E à A. On possède alors une plaque ayant trop posé pour le bleu et à peine suffisamment pour les autres couleurs.

Influence d'un verre de couleur interposé. — Le verre *bleu* ne réduit que très faiblement l'image pendant les poses instantanées, même pour la région ultra-violette.

Un verre *jaune* ne réduit pas l'intensité de l'image du côté du rouge, mais il la réduit du côté du bleu, c'est-à-dire de H à l'ultra-violet. Si, au lieu de poser 1 seconde, on pose 30 secondes, toutes

les couleurs impressionnent la plaque et, en outre, comme l'action du bleu est très ralentie les inégalités d'impression s'atténuent. Donc, en photographie, dès qu'on peut prolonger la pose, il faut interposer devant l'objectif un verre jaune assez foncé. La meilleure plaque orthochromatique est une plaque ordinaire avec un verre jaune. Un verre vert réduirait encore l'impression du côté du bleu, mais son emploi ne serait avantageux qu'avec une pose trop exagérée.

2^o Plaques dites orthochromatiques.

Les substances dont ces plaques sont recouvertes les rendent beaucoup moins sensibles aux rayons bleus que les plaques ordinaires. Leur sensibilité s'étend un peu du côté du rouge au delà de D, mais sans atteindre en aucune façon la raie A à moins de pose exagérée. Ces plaques se comportent en réalité comme une plaque ordinaire devant laquelle on aurait placé un verre jaune, mais leur sont très inférieures.

Elles sont, malgré les prospectus, fort peu sensibles dans le vert (entre E et F), c'est-à-dire justement dans la région où la sensibilité serait, en cas de paysage, la plus nécessaire. En outre si leur sensibilité est plus grande que celle des plaques ordinaires du côté du rouge, elle l'est beaucoup moins du côté du violet. Si on les emploie avec interposition d'un verre jaune comme on l'a proposé les effets sont désastreux. L'impression entre E et F, c'est-à-dire dans la région du vert, qui était déjà insuffisante, est arrêtée net. Les plaques orthochromatiques, celles du moins fabriquées en France et qui sont les seules que j'ai étudiées, possèdent, en dehors des défauts précédents, celui d'être voilées. Même quand on les développe dans une obscurité complète, elles donnent le plus souvent des images grises et plates.

CHAPITRE IV

La dématérialisation de la matière sous l'action de la lumière.

§ 1. — LA DISSOCIATION DE LA MATIÈRE SOUS L'INFLUENCE DES DIVERSES RADIATIONS DU SPECTRE SOLAIRE.

J'ai longuement étudié, dans *l'Évolution de la matière*, la dissociation qu'éprouvent tous les corps sous l'influence des radiations lumineuses et montré qu'un corps frappé par la lumière émet des effluves de la famille des rayons cathodiques, dont la quantité varie considérablement avec la nature des radiations. Si je reviens sur cette question, c'est parce que j'ai été conduit à étudier dans cet ouvrage les principales actions de la lumière. Mes expériences sur ce sujet furent vérifiées récemment par un de nos plus illustres savants, sir William Ramsay¹. Il a publié, à propos de la dissociation de la matière sous l'influence de la lumière un mémoire extrêmement remarquable, non seulement par la précision des

1. « Mes recherches, écrit sir William Ramsay, ont été entreprises pour « répéter quelques expériences de Gustave Le Bon, exposées dans plusieurs mé-
« moires et publiées aussi dans son livre *l'Évolution de la matière...* On sait
« que Gustave Le Bon a essayé de prouver que la matière peut se dissocier sous
« l'action de la lumière et que les produits de cette désintégration sont des par-
« ticules électriques pouvant traverser des écrans métalliques. » (*Philosophical
magazine*, octobre 1906, p. 402.)

expériences, mais encore par les considérations théoriques qu'il contient. Les résultats obtenus par lui ont été identiques aux miens et il admet entièrement la théorie de la dissociation de la matière. Ses conclusions sont même plus hardies encore que les miennes.

« La désintégration de la matière, dit Ramsay, implique sa transmutation. Quand, par exemple, du zinc illuminé par de la lumière ultra-violette perd de ses électrons, on peut dire que le métal résiduel — le zinc privé de quelques électrons — n'est plus du zinc, mais une autre forme de matière. » Ramsay considère d'ailleurs l'action de la lumière ultra-violette comme une sorte de détonateur produisant la désintégration des éléments de la matière.

J'ai été très heureux de voir un aussi éminent savant confirmer l'exactitude de mes expériences et arriver aux conclusions que je défends depuis si longtemps. Il ne sera pas sans intérêt de rappeler brièvement l'origine de ces dernières.

Les observations montrant que l'action de la lumière sur les corps produit des effluves analogues à ceux de l'uranium — le seul corps radio-actif alors connu — ne sont pas nouvelles, puisque je les ai publiées il y a environ dix ans pour la première fois. Elles furent le point de départ de ma théorie sur la dissociation universelle de la matière, et j'y suis revenu dans plusieurs mémoires.

Après avoir montré que la lumière solaire exerçait à des degrés divers une action dissociante sur tous les corps, j'abordai l'examen des radiations ultra-violettes dont l'étude avait donné naissance à de nombreux travaux. Mes recherches montrèrent : 1° que la décharge dite négative était également positive, contrairement à tout ce qui s'enseignait alors ; 2° que la décharge des corps électrisés est fort différente suivant les corps employés, point vérifié également

par Ramsay et contraire encore à ce qui s'enseignait ; 3° que la décharge ne se faisait pas du tout par une pulvérisation du métal frappé par la lumière comme le croyait autrefois Lénard, mais par la dissociation des atomes. Ce point capital, peu contesté aujourd'hui et admis également par Ramsay, était très nouveau et imprévu à une époque où personne ne songeait à établir une parenté quelconque entre les effluves produits par l'action de la lumière et les radiations cathodiques et uraniques.

Toutes ces expériences, qui paraissent fort simples quand on lit leur exposé dans un livre, sont hérissées d'énormes difficultés et surtout de causes d'erreur qui expliquent les opinions erronées formulées par les observateurs. Ils étudièrent d'ailleurs l'action de la lumière sur les corps sans avoir jamais soupçonné que de cette étude devait sortir un jour la preuve de la dissociation de la matière.

D'autres personnes reprendront ces recherches, car le sujet est loin d'être épuisé. Je leur rendrai service, en signalant des causes d'erreur qui m'arrêtèrent longtemps et me conduisirent finalement à constater la radio-activité spontanée de tous les métaux. Rien ne serait plus instructif pour l'histoire de l'évolution des idées que le récit des incertitudes par lesquelles les chercheurs ont passé et dont leurs travaux définitifs ne contiennent naturellement pas la trace.

Dans mes premières expériences j'avais bien constaté que les effluves émis par les corps soumis à l'action de la lumière traversaient, ainsi que le reconnut également Ramsay, de minces écrans métalliques. Mais comme parfois ils paraissaient en traverser d'assez épais, je dus rechercher la raison de cette anomalie : les rayons cathodiques auxquels j'assimilais ces effluves ne passent, en effet, qu'à travers des lames extrêmement minces.

Je remarquai d'abord que ces effluves contournaient les obstacles de la plus curieuse façon, comme s'ils roulaient à leur surface. Le remède semblait facile puisqu'il n'y avait qu'à donner aux écrans supposé traversés la forme d'un cylindre fermé entourant la boule de l'électroscope. Mais au lieu de simplifier la question j'avais créé des problèmes nouveaux, dont l'interprétation me demanda plusieurs mois.

L'électroscope, lorsque je l'exposais au soleil entouré de son cylindre protecteur, se déchargeait de plusieurs degrés en quelques minutes, puis ne donnait plus aucune décharge, alors même que l'on nettoyait le métal. Si le cylindre était remplacé par un autre de même substance, la décharge recommençait, puis au bout de quelque temps s'arrêtait encore. Pour quelles raisons un corps jouissant de certaines propriétés les perdait-il quelques instants plus tard ?

On n'énumérera pas ici toutes les recherches faites pour séparer les facteurs susceptibles d'agir et étudier l'action de chacun d'eux. D'élimination en élimination il ne resta que l'influence de la chaleur. C'était bien elle qui agissait, car en remplaçant le soleil par un corps chaud non incandescent placé dans l'obscurité près du cylindre entourant l'électroscope, la décharge se produisait ; mais comme au soleil, elle s'arrêtait bientôt. Quel rôle jouait la chaleur dans ce phénomène ?

Évidemment, il était invraisemblable qu'une quantité de chaleur capable d'échauffer de quelques degrés seulement la surface d'un métal rendit conducteur de l'électricité l'air contenu dans son intérieur. La chaleur ne pouvait pas d'ailleurs être le seul élément intervenant, puisque les cylindres métalliques exposés à son action devenaient bientôt sans influence sur l'électroscope. Aucun nettoyage ne leur rendait leurs propriétés. La plupart les reprenaient spontanément cependant, au bout de quelques jours.

De nouveau il fallut procéder par voie d'éliminations successives et j'arrivai enfin à constater que les métaux perdaient, sous l'influence de la chaleur, quelque chose qu'ils pouvaient reprendre ensuite par le repos. Ce quelque chose était simplement une petite provision de particules radio-actives spontanément formées dans tous les corps.

Comme résultat final de ces expériences j'arrivai aux deux conclusions suivantes : 1° la lumière — notamment les rayons ultra-violetts n'exerçant, comme on le sait, qu'une action calorifique insignifiante — dissocie la matière et la transforme en produits analogues à ceux émis par le radium ou l'uranium ; 2° en dehors de l'action de la lumière et indépendamment d'elle, la chaleur lumineuse ou obscure provoque dans les corps la perte d'une minime quantité de la radio-activité qu'ils contiennent et qui peut se régénérer spontanément. Donc tous les corps sont légèrement radio-actifs et la dissociation de la matière est bien un phénomène universel.

Ramsay observa très bien dans ses belles expériences cette « fatigue » des métaux perdant, plus ou moins au bout de quelque temps, leurs propriétés. Il l'attribue à une modification d'équilibre des atomes de leur surface, théorie qui ne diffère pas sensiblement d'ailleurs de la mienne.

§ 2. — ORIGINE DES PHÉNOMÈNES ATTRIBUÉS A LA PRÉSENCE DU RADIUM.

Puisque je suis sur le chapitre de la radio-activité, il ne sera pas sans intérêt de dire quelques mots d'une grande discussion qui passionna le public anglais et à laquelle prirent part les plus éminents savants : Lord Kelvin, Lodge, Crookes, etc. Des journaux scientifiques, elle passa même dans les journaux

politiques. Bien que le combat ait été vif, les conclusions sont restées fort incertaines.

Son point de départ fut l'extension de cette théorie très générale encore — mais très erronée, comme on a pu le voir par l'exposé qui précède — que toute radio-activité est due à la présence du radium ou de corps de cette famille.

Comme on trouve maintenant de la radio-activité partout, les physiciens n'admettant pas encore la théorie de la dissociation universelle de la matière sont bien obligés de supposer qu'il y a du radium partout. Après avoir été le corps le plus rare de la nature, il en serait à présent le plus abondant.

Partant de cette idée, un physicien soutint devant la *British Association* que la chaleur intérieure du globe proviendrait peut-être de l'action du radium dont la terre serait pleine.

Les personnes qui n'ont pas fait une étude approfondie de ce corps peuvent croire qu'il s'agit d'une substance bien définie, comme le sodium ou l'or et dont il est par conséquent facile de reconnaître la présence par certains réactifs ; or, il n'en est rien. Laissons de côté quelques raies spectrales d'interprétation assez contestable, uniquement observées d'ailleurs dans des solutions très concentrées de sels de radium, et demandons-nous sur quoi on se base pour affirmer ce corps très commun ?

Simplement sur ce caractère fondamental : l'émission de particules portant une certaine quantité d'électricité et capables, par conséquent, de décharger un électromètre. Il n'existe pas d'autre moyen d'investigation pratique, et ce fut en prenant ce dernier exclusivement pour guide qu'on isola le radium des substances diverses auxquelles il était mélangé.

Ce caractère serait d'ailleurs excellent si le radium ou les substances de la même famille étaient seuls à le présenter ; mais comme tous les corps de la nature

le possèdent, ainsi que je l'ai montré, soit spontanément, soit sous l'influence de causes très variées : lumière, chaleur, réactions chimiques, etc., il s'ensuit que l'on attribue au radium des propriétés qui peuvent appartenir à des corps fort différents. Si l'on tient à admettre que la radio-activité est la cause de la température intérieure du globe, il n'y a nul besoin d'invoquer la présence supposée du radium. Tous les corps à haute température, comme semblent l'être ceux existant dans l'intérieur de notre planète, dégagent des torrents de particules électriques analogues à celles que produit le radium. Je ne sais pas si elles servent à maintenir la chaleur terrestre, mais il semble plus vraisemblable de croire qu'elles jouent un rôle dans la production des tremblements de terre.

Ce qui concerne les actions de la lumière sur la matière peut être résumé en disant que les radiations lumineuses absorbées par un corps se transforment, suivant ce corps et suivant les rayons agissants, en effets fort différents : chaleur, équilibres chimiques, dissociation de la matière, etc. Dans le cas de dissociation, l'énergie émise par le corps dissocié sous forme de particules diverses peut être très supérieure à l'énergie qui a provoqué sa dissociation. La lumière agit alors comme l'étincelle sur une masse de poudre. On peut donc dire d'une façon générale que toutes les propriétés physiques ou chimiques d'un corps ayant absorbé des radiations lumineuses sont plus ou moins modifiées par le fait seul de cette absorption.

LIVRE III

LES PROBLÈMES DE LA PHOSPHORESCENCE

CHAPITRE I

Phosphorescence produite par la lumière.

§ 1. — LES FORMES DIVERSES DE LA PHOSPHORESCENCE.

On donne le nom de phosphorescence à la propriété dont jouissent certains corps de devenir lumineux après avoir été exposés à des influences diverses, celle des radiations solaires notamment.

La phosphorescence, un des plus difficiles problèmes de la physique, un de ceux dont l'interprétation est la plus compliquée, réalise ce paradoxe apparent d'engendrer de la lumière froide, c'est-à-dire sans élévation de température. Dans toutes nos sources d'éclairage habituelles, la lumière se manifeste seulement lorsque les corps ont été d'abord portés à une température élevée.

Pendant longtemps la phosphorescence fut envisagée comme un phénomène aussi rare dans le règne minéral que dans le règne animal. Les recherches

récentes sur les animaux des grandes profondeurs prouvent que, pour un nombre immense d'êtres, la phosphorescence est un mode normal d'éclairage leur permettant de se guider dans les abîmes ténébreux des mers où le soleil ne pénètre jamais. On peut se demander aujourd'hui si les animaux ne connaissant d'autre lumière que la phosphorescence ne sont pas plus nombreux que ceux éclairés par le soleil. Les phénomènes de la phosphorescence, qui frappaient jadis par leur exception, frappent maintenant par leur fréquence.

Nous avons rencontré souvent les actions de la phosphorescence dans le cours de nos recherches. Les documents déjà publiés qui se bornaient presque uniquement aux recherches faites par Edmond Becquerel, il y a plus de cinquante ans, ne permettant pas d'expliquer tous les phénomènes constatés, nous fûmes conduits à reprendre entièrement cette étude. Les faits nouveaux que nous avons reconnus seront bientôt exposés.

Les divisions habituelles de la phosphorescence étant très artificielles, il serait inutile de les reproduire. Nous nous bornerons à répartir les phénomènes en quatre classes; les trois premières connues depuis longtemps, la quatrième est due à nos recherches.

1° *Phosphorescence engendrée par la lumière.* —
2° *Phosphorescence indépendante de la lumière et déterminée par divers excitants physiques, tels que la chaleur, le frottement, l'électricité, les rayons X.* —
3° *Phosphorescence par réactions chimiques.* Dans cette classe rentrent les phénomènes lumineux que présentent certains êtres vivants. —
4° *Phosphorescence invisible.* Elle comprend la production de lumière incapable d'impressionner l'œil, mais capable d'impressionner la plaque photographique et d'être rendue visible par divers moyens.

Nous n'étudierons dans ce chapitre que la phosphorescence produite par la lumière.

§ 2. — ACTION DES DIVERSES RÉGIONS DU SPECTRE
SUR LES CORPS SUSCEPTIBLES
DE PHOSPHORESCENCE ET MÉTHODE D'OBSERVATION.

Beaucoup de corps, soit naturels comme le diamant, l'apatite, la fluorine, la leucophane, soit artificiels, comme les sulfures alcalino-terreux, ont la propriété de briller dans l'obscurité après avoir été exposés un instant à la lumière du jour.

A l'exception du diamant, dont la luminosité est parfois très vive, la phosphorescence des minéraux est toujours fort inférieure à celle des substances fabriquées artificiellement.

Un très grand nombre de corps sont susceptibles, comme l'a montré E. Becquerel au moyen de son phosphoroscope, d'acquérir la propriété de briller pendant une courte fraction de seconde après avoir été exposés à la lumière.

Dans cette dernière classe des corps à phosphorescence brève, rentrent les composés dits fluorescents. On a voulu en faire une classe spéciale, sous prétexte qu'ils auraient la propriété de transformer de la lumière ultra-violette invisible en lumière visible. Cette propriété est en réalité commune aux divers corps phosphorescents; presque tous, en effet, sont illuminables par l'extrémité ultra-violette du spectre.

L'action des diverses régions du spectre s'observe très facilement avec les sulfures phosphorescents. Ces sulfures ne sont qu'au nombre de quatre : ceux de calcium, de baryum, de strontium et de zinc. Exposés à la lumière, ils acquièrent une phosphorescence qui persiste plusieurs heures après l'insolation, mais en décroissant constamment.

La grande sensibilité de ces corps à la lumière se rapproche généralement de celle des plaques photographiques au gélatino-bromure.

Les sulfures de calcium, de strontium et de baryum ont des propriétés très voisines; ils ne diffèrent guère entre eux que par la couleur de leur phosphorescence et la rapidité avec laquelle ils s'impressionnent à la lumière. Le sulfure de calcium est le plus rapidement impressionné; celui de strontium le plus lentement. Ce dernier demande plusieurs secondes d'insolation pour arriver à son maximum d'illumination, alors que l'on peut impressionner le sulfure de calcium au soleil en $1/30^e$ de seconde.

Le sulfure de zinc à phosphorescence verte — et non celui à phosphorescence jaune ou orangée — jouit, pour l'étude des radiations allant du vert jusque très loin dans l'infra-rouge, d'une sensibilité spéciale que ne possèdent pas les autres sulfures. Grâce à elle j'ai pu démontrer la grande transparence pour la lumière de corps supposés jadis fort opaques. Un écran de sulfure de zinc insolé à la lumière du jour s'éteint instantanément dès qu'il est exposé à des radiations jaunes, vertes, rouges, et surtout infra-rouges. Par des mesures précises effectuées avec des obturateurs dont j'avais mesuré la vitesse avec un chronographe enregistreur, j'ai reconnu qu'en moins de $1/10^e$ de seconde, du sulfure de zinc insolé manifestait dans l'infra-rouge un commencement d'extinction. J'utilisai cette propriété pour obtenir des photographies instantanées dans une obscurité complète, comme on le verra dans un autre chapitre.

L'extrême sensibilité du sulfure de zinc rend son illumination très variable suivant la proportion des rayons infra-rouges contenus dans les diverses sources lumineuses. Alors que les autres sulfures s'illuminent à la simple clarté d'une lampe à pétrole, le sulfure de zinc non seulement ne s'illumine pas, mais

s'éteint même si on l'a d'abord insolé à la lumière du jour.

Les sulfures de calcium et de strontium étant peu sensibles aux rayons infra-rouges, s'illuminent très bien, au contraire, pour cette raison, à la lumière d'une lampe, ou même d'une bougie. On en déduit immédiatement le moyen de distinguer le sulfure de strontium substitué frauduleusement au sulfure de zinc et dont la phosphorescence possède la même teinte verte. Un écran de sulfure de strontium s'illumine à la lumière d'une bougie; un écran de sulfure de zinc préalablement insolé à la lumière du jour, s'éteint au contraire. Je dois ajouter que le sulfure de zinc à phosphorescence verte, *le seul utilisable pour ces expériences*, étant d'une préparation fort difficile, se rencontre rarement dans le commerce.

Si le sulfure de zinc est un précieux réactif pour les rayons infra-rouges, le sulfure de calcium est un réactif aussi précieux pour les radiations de l'autre extrémité du spectre, c'est-à-dire les rayons bleus et violets. Il suffit de $1/10^{\circ}$ de seconde d'exposition à la lumière pour que son impression commence.

Pour étudier l'action des divers rayons du spectre sur la phosphorescence, il n'y a qu'à mettre au foyer d'un spectroscopé à projection monté sur une chambre noire une plaque enduite d'un sulfure phosphorescent et ouvrir le châssis qui la porte dans l'obscurité après exposition à la lumière.

J'ai fait usage d'un spectroscopé à trois prismes devant lequel a été ajouté une lentille condensatrice (fig. 21), dont l'emploi est nécessaire dans beaucoup d'expériences pour augmenter l'intensité des rayons lumineux tombant sur la plaque.

Afin de pouvoir étudier l'action de la lumière sur les corps phosphorescents, ces derniers doivent être étalés sur des écrans en verre ou en carton. Le procédé employé pour fabriquer les écrans phosphorescents auquel je me suis arrêté après en avoir essayé plusieurs est le suivant : on broie le sulfure dans un mortier d'agate et on le passe dans un tamis de soie du numéro le plus fin. On le mélange intimement ensuite dans le même mortier avec un vernis connu

chez les marchands de couleurs sous le nom de *verniss à bronzer*; la proportion de la poudre ajoutée au vernis peut varier suivant la qualité de ce dernier, mais ne doit pas descendre au-dessous de 30 p. 100. Quand le mélange est parfaitement homogène, on le verse, sans le laisser reposer et à la façon du collodion, sur un carton placé horizontalement. On a eu soin préalablement de coller sur les bords de ce dernier un petit cadre de 1/2 millimètre d'épaisseur et de 2 à 3 millimètres de largeur.

Si le mélange est versé sur une lame de verre, on obtient un

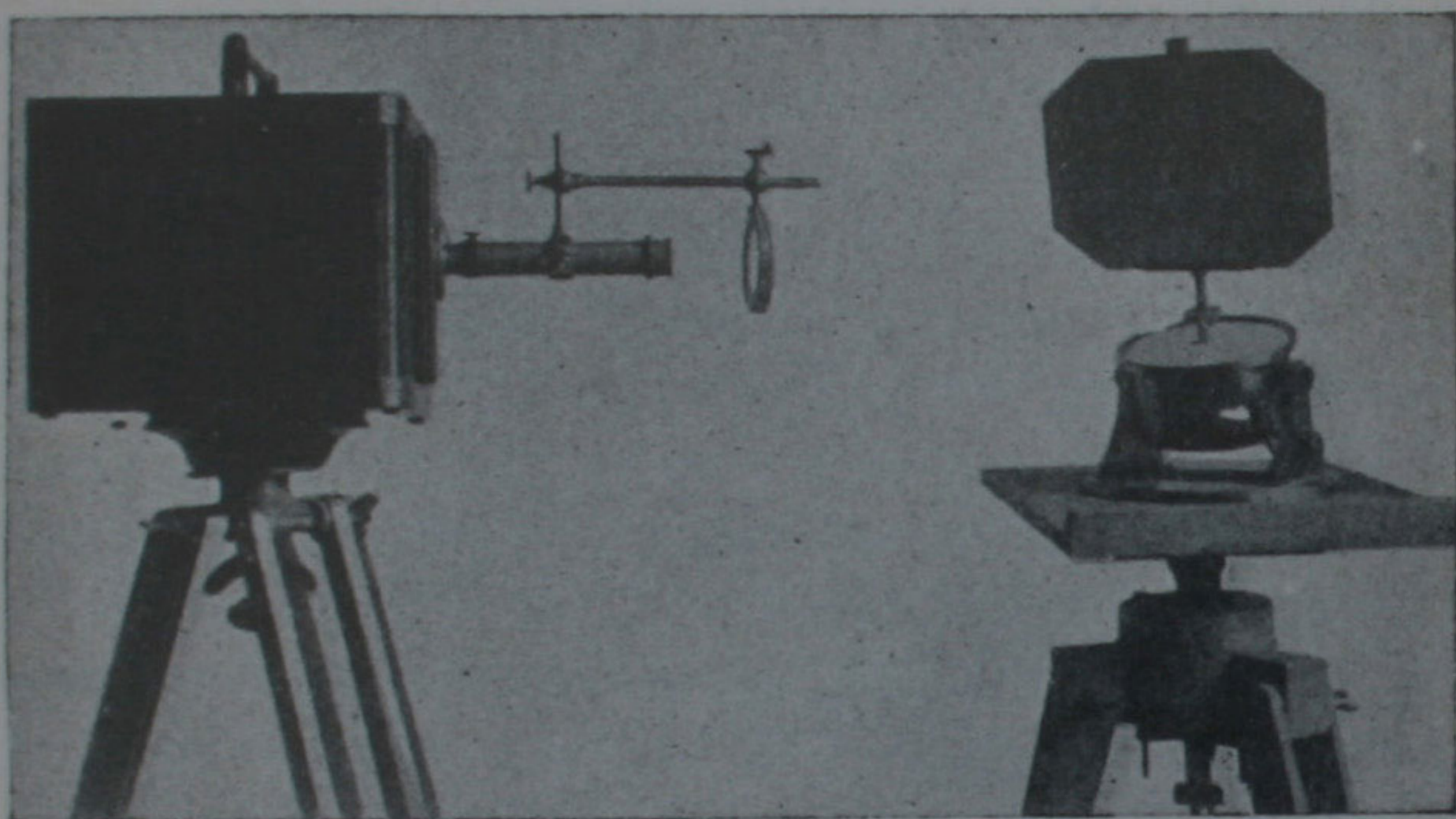


FIG. 21. — Spectrographe et héliostat employés dans nos expériences.

Ce spectrographe ne diffère des appareils ordinaires que par l'adjonction devant lui d'une lentille convexe qui permet de donner une grande intensité lumineuse aux spectres malgré l'étroitesse de la fente du collimateur. Pour les recherches dans l'ultra-violet, il faut éviter l'emploi de l'héliostat à cause des propriétés absorbantes du miroir pour cette région du spectre.

écran translucide ayant exactement l'aspect d'un verre finement dépoli. Si le liquide est versé sur du carton, l'écran est naturellement opaque mais comme on peut rendre le mélange plus épais, l'écran est plus lumineux. Quand on n'a pas mis trop de vernis l'écran est sec et prêt à servir au bout d'un quart d'heure.

Si on désire conserver l'image du sulfure impressionné par les divers rayons, il n'y a qu'à appliquer l'écran pendant quelques minutes sur une plaque photographique développée ensuite par les moyens ordinaires.

En opérant avec des écrans fabriqués comme il vient d'être dit et mis au foyer du spectroscopie, rien n'est plus simple que d'observer l'action des diverses

parties du spectre. On remarque alors que la seule partie du spectre solaire, pouvant impressionner les corps phosphorescents, va du bleu jusque très loin dans l'ultra-violet. Le reste du spectre, c'est-à-dire toutes les radiations, depuis le vert jusque très loin dans l'infra-rouge, non seulement est sans action sur la production de la phosphorescence, mais de plus la détruit quand on le dirige sur un corps phosphorescent, illuminé par les précédents rayons.

Ces faits avaient été sommairement constatés depuis longtemps, mais leur interprétation était fort incomplète; car on attribuait l'extinction à une excitation calorifique obligeant le sulfure à émettre sa provision de phosphorescence en un temps très court. En ce qui concerne le sulfure de zinc notamment, des expériences comparatives faites sur des écrans placés à côté l'un de l'autre nous ont montré qu'une période d'excitation ne précédait jamais la période d'extinction. Pour le sulfure de calcium seulement, une très légère excitation de la phosphorescence précède son extinction.

Au point de vue de son action sur les corps phosphorescents, le spectre solaire comprend donc deux régions fort différentes, puisque leurs propriétés sont tout à fait contraires : 1° une région d'illumination correspondant à la moitié environ du spectre visible allant du bleu jusque dans l'ultra-violet; 2° une région d'extinction correspondant à l'autre partie du spectre et allant très loin dans l'infra-rouge.

Dans la partie intermédiaire entre ces deux régions, variant un peu suivant les sulfures, mais oscillant autour de la raie F, se trouve une zone à la fois extinctrice et illuminatrice suivant les circonstances. Sur un écran de sulfure non isolé, elle l'illumine jusqu'à un certain degré de phosphorescence, toujours très faible. Sur un écran rendu très brillant par une

insolation préalable, elle ramène la phosphorescence à un faible degré.

Ces dernières expériences, faciles à observer à la chambre noire munie d'un spectroscopie, se font plus commodément, quoique moins exactement, avec un simple verre jaune. Si, dans un châssis photographique, fermé par un verre jaune clair, on place un écran de sulfure de calcium non insolé, et à côté un autre écran préalablement insolé, puisqu'on ouvre le châssis dans l'obscurité après exposition des deux écrans à lumière du jour derrière le verre jaune, on les voit tous deux fort peu lumineux. Sur celui non insolé, les rayons pouvant agir à la fois comme extincteurs et illuminateurs ont été illuminateurs et ont déterminé une phosphorescence légère. Sur l'écran préalablement insolé, et dont la phosphorescence était d'abord très vive, ils ont agi comme extincteurs en la réduisant considérablement. Il existe donc bien des rayons possédant à la fois la propriété de produire un certain degré de phosphorescence et celle d'éteindre tout ce qui le dépasse.

Ces résultats ont beaucoup d'importance. Ils nous permettront, dans un autre chapitre, de résoudre la question de l'existence des actions antagonistes des deux extrémités du spectre. Ce sujet était discuté depuis plus de cinquante ans et les expériences photographiques n'avaient pas permis de l'élucider encore.

§ 3. — PHOSPHORESCENCE DES DIAMANTS.

Bien que, par ses actions phosphorescentes, le diamant se rapproche des corps que nous venons d'étudier, il possède cependant des propriétés spéciales fort intéressantes, dont l'étude nous arrêta quelque temps. Pour cette raison, nous lui consacrons un paragraphe

Le diamant diffère des autres minéraux naturels capables de phosphorescence, parce que chez ces derniers l'aptitude à devenir lumineux sous l'influence de la lumière qui peut souvent être détruite, par une calcination prolongée, ne l'est pas pour les diamants.

Quoique la propriété du diamant, de devenir lumineux dans l'obscurité, après avoir été exposé à la lumière, soit connue de toute antiquité, sa phosphorescence ne fit l'objet d'aucune étude spéciale. Les minéralogistes n'avaient même pas pris la peine de rechercher l'origine des diamants phosphorescents et de constater que certaines mines fournissent des diamants toujours phosphorescents, tandis que d'autres en fournissent qui ne le sont jamais.

Les diamants du commerce viennent soit du Brésil, soit du Cap. Presque toutes les mines de l'Inde sont épuisées depuis longtemps. Celles fonctionnant encore donnent des produits inférieurs qu'on n'expédie plus en Europe.

Tous les diamants, y compris les plus incolores, sont, pour un œil exercé, légèrement teintés. Aucun des spécialistes consultés n'admet l'existence de diamants absolument incolores.

Les plus beaux diamants, c'est-à-dire les plus brillants viennent de la mine de Bahia, au Brésil. Ils sont de plus en plus rares. L'immense majorité de ceux vendus actuellement, comme étant du Brésil, sont simplement des diamants du Cap¹.

Les diamants du Cap, souvent aussi incolores que ceux du Brésil et parfois plus gros, leur sont tou-

1. Les diamants de très petite taille, c'est-à-dire au dessous de 1 carat, se vendent à peu près le même prix, qu'ils viennent du Cap ou du Brésil. Les différences considérables de prix n'apparaissent que pour les diamants au-dessus de 1 carat (205 milligr.). Les diamants de Bahia valent alors environ 40 % plus cher que ceux du Cap. J'indiquerai plus loin un moyen, à la portée de tout le monde, de distinguer ces deux qualités de diamant, que quelques bijoutiers n'hésitent pas à substituer l'une à l'autre.

jours inférieurs, non seulement par leur dureté, mais par leur vivacité. Placés à côté d'eux, ils paraissent ternes.

Afin de ne pas prendre des cas particuliers pour des cas généraux, j'ai fait porter mon étude sur 200 diamants environ de toutes tailles, moitié du Cap, moitié du Brésil. Ces derniers provenaient surtout de la mine de Bahia et présentaient toutes les variétés de teintes connues¹.

Pour l'étude de la phosphorescence visible, les diamants étaient soumis à l'illumination produite par un ruban de magnésium de 15 centimètres de longueur, enflammé avec une lampe à alcool. Cette opération doit toujours être faite par un aide, pendant que l'observateur reste dans l'obscurité pour ne pas être ébloui par la vive clarté du magnésium en combustion qui l'empêcherait, ensuite, de percevoir la phosphorescence.

Les premiers essais faits sur un lot d'une centaine de diamants de toutes teintes, dont moitié du Brésil et moitié du Cap, me montrèrent immédiatement ce fait curieux : presque tous les diamants du Brésil et tous ceux de la mine de Bahia étaient vivement phosphorescents, aussi phosphorescents qu'un fragment de sulfure de zinc insolé pendant l'opération. Aucun diamant du Cap n'était phosphorescent.

La non-phosphorescence des diamants du Cap n'est pas d'ailleurs absolue, car en restant dans une obscurité profonde, au moins vingt minutes pour reposer l'œil, et faisant exposer ces diamants par un aide au soleil, on perçoit une très légère phosphorescence sur près de la moitié d'entre eux. Cette phosphorescence est sur la limite du minimum lumineux perceptible,

1. Tous ces diamants, en dehors de ceux achetés pour les pulvériser, m'ont été prêtés par deux grands importateurs de diamant, M. Pelletier et M. Ochs. Je leur dois tous mes remerciements pour la peine qu'ils ont prise de faire venir de diverses mines, les diamants nécessaires à mes expériences.

et nullement comparable à la vive clarté que donnent les diamants du Brésil.

Les mêmes expériences souvent répétées avec d'autres diamants d'origine connue m'ont toujours donné les mêmes résultats¹.

Comme première conclusion, nous voyons que la phosphorescence du diamant n'est pas due à sa coloration, mais à son origine géologique. Des diamants bleuâtres ou jaunâtres de Bahia sont phosphorescents, alors que ceux du Cap ne le sont pas, quelle que soit leur couleur.

Comme pour les divers corps phosphorescents, la pulvérisation réduit notablement la phosphorescence du diamant, mais ne la détruit pas.

Tous les diamants phosphorescents par la lumière le deviennent aussi quand on dirige sur eux un faisceau de rayons X.

Soumis à l'étincelle électrique d'induction suivant la méthode exposée dans un autre chapitre, tous les diamants quelle que soit leur origine deviennent phosphorescents. Ils le deviennent aussi quand ils sont exposés à l'influence du radium même à travers une lame mince d'aluminium, cependant ceux du Brésil brillent beaucoup plus.

Nous verrons, dans un autre chapitre, que les diamants présentent également le phénomène de la phosphorescence invisible.

L'aptitude des diamants à devenir phosphorescents par la lumière, n'est pas supprimée par la chaleur

1. Ce moyen de distinguer les diamants du Brésil de ceux du Cap est fort précis et m'a permis plus d'une fois d'éclairer des acheteurs sur la valeur réelle de leurs diamants, indications dont des expertises ont toujours confirmé la justesse. J'ai pu reconnaître immédiatement dans un lot de 60 diamants du Cap, un diamant du Brésil qui y avait été mélangé par erreur. Ce procédé de diagnostic est à la portée de tout le monde et permettra à bien des personnes de constater qu'elles payent parfois les diamants près du double de leur valeur. Un diamant vendu 10.000 francs, sous prétexte qu'il vient du Brésil, n'en vaut en réalité que 6.000 s'il vient du Cap.

comme pour un grand nombre de substances minérales. Après une calcination de 15 heures, elle a été détruite pour beaucoup de corps, la fluorine, l'apatite, etc., tandis que j'ai pu chauffer des diamants pendant 60 heures, à 1.000 degrés, sans altérer leur aptitude à la phosphorescence. Ils ont été alors réduits en poudre impalpable avec un mortier d'Abich et la calcination recommencée¹. Elle ne les pas empêché de briller ensuite après insolation.

Cette persistance de l'aptitude à la phosphorescence, malgré une calcination aussi prolongée, montre que, si la luminescence des diamants est due à la présence de corps étrangers, ces corps ne sont pas altérés par la chaleur ou, au moins, à une chaleur inférieure à celle de la destruction du diamant.

On enseigne généralement dans les ouvrages classiques, que le diamant brut n'est pas phosphorescent et n'acquiert cette propriété qu'après le polissage. Landrin, dans son *Dictionnaire de minéralogie*, s'exprime de la façon suivante : « Un cristal de fluorine
« n'est pas phosphorescent lorsqu'il est poli... Le
« contraire arrive pour le diamant, qui ne donne de
« lueur qu'après avoir été soumis au polissage et ne
« manifeste point cette faculté lorsqu'il est à l'état de
« cristal naturel. »

J'étais à peu près sûr de l'inexactitude de ces assertions, puisque le diamant pulvérisé ne perd pas, d'après mes observations, son aptitude à la phosphorescence. J'ai tenu cependant à vérifier expérimentalement la croyance des minéralogistes, car les conséquences scientifiques de la propriété qu'ils

1. L'opération était nécessaire pour constater si la phosphorescence n'était pas due, comme pour l'améthyste, à des corps étrangers destructibles par la chaleur. Elle n'est pas très économique, car la valeur marchande des diamants taillés de petite dimension est d'environ 1.300 francs le gramme. On réduirait ce prix de beaucoup, en se servant de diamants non taillés; mais les diamants du Brésil non taillés sont à peu près introuvables à Paris, les commerçants ayant intérêt à les faire venir taillés.

attribuaient au diamant poli eussent été très grandes. Comme je le prévoyais, c'était une de ces erreurs classiques répétées sans vérification, et auxquelles la répétition finit par donner une indiscutable autorité. Ayant réussi à me procurer des diamants bruts, venant sûrement du Brésil, j'ai pu constater leur phosphorescence par la lumière.

La phosphorescence du diamant paraît liée, comme pour les autres corps — les sulfures étudiés plus haut notamment — à la présence de traces de substances étrangères. Les diamants les plus transparents laissent, quand on les incinère, une petite quantité de cendres rarement inférieure à 2 pour 100 contenant des corps variés, magnésie, chaux, fer, etc.

§ 4. — RELATIONS ENTRE L'INTENSITÉ DE LA PHOSPHORESCENCE ET LA TEMPÉRATURE DES SUBSTANCES INSOLÉES.

Le degré de phosphorescence que peut prendre un corps insolé est-il en relation avec la température à laquelle se trouve ce corps pendant l'insolation? L'expérience seule permettait de répondre à cette question.

A une température notablement inférieure à zéro et variable suivant les substances, les corps exposés à la lumière n'acquièrent pas de phosphorescence visible. Au-dessus de cette température, l'intensité de la phosphorescence prise par un corps exposé à la lumière, pendant qu'il est échauffé augmente toujours jusqu'à 100 degrés. Au-dessus de 100 degrés, la phosphorescence qu'il peut acquérir diminue et vers 500 degrés devient tout à fait nulle. L'influence de cette dernière température s'explique en admettant que la précipitation de la lumière par la chaleur est alors aussi rapide que son absorption. L'expulsion se faisant

en même temps que l'absorption, la phosphorescence n'apparaît pas.

Ces faits se vérifient avec des écrans de sulfure de calcium sur cartons coupés par moitié. Les deux moitiés placées à côté l'une de l'autre dans l'obscurité sur des récipients portés à des températures différentes sont examinées dès qu'elles ont été illuminées avec un ruban de magnésium. Vers -180 degrés environ, température obtenue en plongeant l'écran de sulfure dans de l'air liquide, on n'observe aucune phosphorescence, sous l'action de la lumière, comme l'a reconnu pour la première fois Dewar; mais, en retirant l'écran et le laissant un instant dans l'obscurité à la température ambiante, il devient lumineux. Le passage de -180 degrés à la température ambiante représente pour le sulfure un échauffement considérable qui lui fait expulser rapidement la phosphorescence invisible acquise à -180 degrés.

Mais c'est entre 0 et 100 degrés que l'expérience se fait le plus facilement. Une moitié de l'écran étant placée sur un bloc de glace, l'autre sur un bain de sable porté à des températures différentes, on constate, après insolation au magnésium, que le sulfure insolé pendant qu'il était chauffé à 100 degrés est beaucoup plus brillant que celui insolé à la température de zéro. Pour le sulfure de calcium la différence est considérable; beaucoup moindre pour le sulfure de zinc.

L'un des deux écrans étant mis ensuite sur une plaque chauffée à 200 degrés, et l'autre, maintenu à la température ambiante, soit 15 degrés environ, on reconnaît, après illumination au magnésium, que l'écran porté à 200 degrés est beaucoup moins brillant. Répétant la même expérience, en portant un des deux écrans à 500 degrés, on n'obtient sur ce dernier qu'une phosphorescence extrêmement faible. J'ai donné plus haut la raison probable de ces différences.

§ 5. — DÉPÉRDITION DE LA PHOSPHORESCENCE
EN FONCTION DU TEMPS.

Ce qui a été dit de l'action des divers rayons du spectre et de la température pendant l'insolation a déjà prouvé que l'intensité de la phosphorescence dépend de plusieurs facteurs.

Il nous reste à en étudier un, le temps. Tous les auteurs ont cru devoir lui accorder une influence prépondérante.

Le temps a sur la déperdition de la phosphorescence une influence évidente, mais bien inférieure à celle de la température. La phosphorescence visible qui succède à l'insolation ne dépassant guère pour les corps les plus sensibles une durée de quelques heures, le temps a été considéré jusqu'ici comme le principal élément destructeur de la phosphorescence. Cet élément n'a en réalité rien de fondamental, puisque au moyen d'une température convenable on peut éliminer entièrement son action.

On a plusieurs fois publié des courbes de déperdition de la phosphorescence en fonction du temps et calculé leur équation. Ces courbes n'auraient de sens que si elles exprimaient la déperdition à une température donnée, car cette déperdition varie avec elle. Le nombre des courbes devrait alors être fort considérable, puisqu'il en faudrait une spéciale pour chaque température.

Elles n'auraient d'ailleurs aucun caractère commun. A une température très basse, variable suivant chaque corps, la courbe de la déperdition en fonction du temps serait représentée par une ligne voisine de l'horizontale, ce qui signifie que la phosphorescence diminue alors fort lentement. A une température élevée, la courbe serait presque verticale, ce qui indique que la perte de la phosphorescence est au contraire

extrêmement rapide. A une température intermédiaire, la courbe serait représentée par une ligne d'abord presque verticale, pendant les premières secondes suivant l'insolation, puis presque horizontale après un temps assez court.

Si l'influence de la température avait été mieux étudiée, on aurait vu depuis longtemps que ces courbes de la déperdition en fonction du temps, laissant de côté un facteur bien plus important que le temps, ne peuvent posséder aucune exactitude.

Et non seulement le temps est un facteur secondaire, mais il arrive même un moment où il est sans action sur la déperdition de la phosphorescence. Nous verrons, en effet, qu'après une certaine émission de lumière pour une température donnée, le corps garde indéfiniment une phosphorescence résiduelle tant qu'on n'élève pas de nouveau sa température.

Cette loi est très générale. La déperdition de la phosphorescence après l'insolation paraissant spontanée chez certains corps, comme les sulfures, résulte de ce qu'ils ne peuvent conserver à la température ordinaire un excès de phosphorescence contre lequel lutte une force antagoniste dont nous parlerons plus loin. En les refroidissant suffisamment, on supprime toute émission. Ils sont alors analogues aux corps tels que la fluorine ou l'apatite, phosphorescents seulement au-dessus de 50 degrés et sur lesquels le temps reste sans effet.

L'action de la température est donc beaucoup plus importante que celle du temps. C'est elle et non le temps qui règle l'émission de la phosphorescence.

On peut cependant déduire quelques renseignements utiles de l'étude de la déperdition lumineuse sous l'influence du temps, si on maintient la température constante pendant toute la durée de l'émission phosphorescente.

Prenons un écran de sulfure de calcium insolé,

maintenons le à 15 degrés et examinons la courbe de la déperdition de sa luminosité. Elle justifiera pleinement ce que nous avons dit du rôle de la température.

Si cette dernière demeure constante, la chute de la courbe représentant la déperdition de la phosphorescence en fonction du temps est pendant la première minute après l'insolation presque verticale. Elle s'infléchit ensuite lentement, devient de moins en moins oblique et finalement tout à fait horizontale. A ce moment le corps ne rayonne plus, le temps ne l'influence plus et il conserve indéfiniment une provision invisible d'énergie lumineuse qu'il ne perdra que par divers moyens, une élévation de température notamment. Nous reviendrons longuement sur ce dernier point dans un autre chapitre.

L'allure générale de la courbe précédente, montre bien que les choses se passent comme si la réaction provoquant la phosphorescence devait se mettre en équilibre avec une force antagoniste agissant en sens inverse. Immédiatement après son insolation l'écran contient un excès de phosphorescence. Sous l'influence de la force antagoniste, cet excès est dissipé rapidement d'abord, puis lentement quand approche le moment où sera établi l'équilibre entre ces deux actions. Lorsque cet équilibre est atteint, les réactions produisant la phosphorescence s'arrêtent entièrement. La force antagoniste ne pouvant plus rien sur la réaction qui engendre la phosphorescence, le corps conservera son résidu phosphorescent jusqu'à ce qu'une élévation de température vienne de nouveau détruire l'équilibre.

J'ignore en quoi consiste la force antagoniste dont je viens de parler. On peut dire seulement que les choses se passent exactement comme si elle existait. Cette interprétation m'a d'ailleurs conduit à la découverte des phénomènes de la phosphorescence invisible, étudiée dans un prochain chapitre.

CHAPITRE II

La phosphorescence par la chaleur.

§ I. — MÉTHODE D'OBSERVATION

Beaucoup de minéraux naturels possèdent la propriété d'acquérir une vive phosphorescence, quand ils sont portés à une température peu élevée, sans avoir été d'abord exposés à la lumière. Si l'échauffement est prolongé suffisamment, ils perdent toute leur provision de phosphorescence et ne brillent plus quand on les chauffe de nouveau après refroidissement. Ils reprennent, mais très faiblement, la propriété de briller par élévation de température, quand on les expose à la lumière après avoir épuisé leur phosphorescence par la chaleur.

Ces faits, connus depuis fort longtemps, représentent à peu près tout ce qu'on trouve dans les traités de physique à propos de la phosphorescence au moyen de la chaleur.

Il est étonnant qu'un phénomène aussi surprenant que la phosphorescence des corps par une faible chaleur n'ait pas attiré depuis longtemps l'attention des physiciens. Avec les théories actuelles on ne voit pas sous quelle forme un corps pourrait avoir conservé depuis sa formation géologique une provision d'énergie lumineuse qu'on lui ferait dépenser à

volonté, en le portant à une température qui peut être souvent très inférieure à 100 degrés.

Les expériences dont nous allons parler prouvent que l'explication est très différente. Ce n'est pas sous forme d'énergie lumineuse que les corps gardent, pendant des siècles, leur aptitude à la phosphorescence par une faible élévation de température. Ils ont conservé, simplement, des composés incapables de se combiner à la température ordinaire, mais seulement quand on l'élève, cas de bien des réactions chimiques. La phosphorescence accompagne ces combinaisons. Les corps en présence ne se combinant pas au-dessous d'une certaine température, peuvent évidemment conserver l'aptitude à la phosphorescence produite par leur combinaison, tout comme du chlore et de l'hydrogène restent indéfiniment inactifs dans l'obscurité et ne se combinent que lorsqu'on fait intervenir un agent excitant comme la lumière.

Si nous n'avions pas cru inutile de modifier des classifications admises, nous aurions mis ce qui concerne la phosphorescence par la chaleur dans le paragraphe consacré à la phosphorescence par réactions chimiques.

L'étude méthodique de l'action de la chaleur sur la phosphorescence exige un petit matériel facile à construire. Il nous servira non seulement pour l'étude de l'action de la chaleur, mais encore pour celle de l'infra-rouge et de la phosphorescence invisible dont nous aurons à nous occuper dans d'autres chapitres.

La méthode d'observation joue un rôle capital dans la recherche des phénomènes de phosphorescence sous l'action de la chaleur. Les procédés d'observation des minéralogistes consistant à mettre les corps à étudier sur des pelles, ou dans des creusets chauffés au rouge, sont tout à fait barbares, et c'est justement parce qu'ils sont barbares que tant de phénomènes leur ont échappé. Dès que la source produisant

l'échauffement est visible, fût-elle fournie par une simple lampe à alcool ou un bec de gaz à flamme bleue, l'œil est ébloui et les faibles phosphorescences échappent à l'observation.

Lorsqu'il s'agit d'étudier la phosphorescence produite aux environs du rouge, je me sers simplement d'une large boîte métallique, sans couvercle, renversée sur une petite lampe à alcool. Ses parois sont dentelées à leur partie inférieure pour permettre l'aération, et dans le fond de la boîte, formant alors couvercle puisqu'elle est renversée, on perce un orifice sur lequel est placée une petite cuve de cuivre de 1 dixième de millimètre d'épaisseur, renfermant le corps soumis à la chaleur. En raison de sa faible épaisseur, cette cuve s'échauffe et se refroidit presque instantanément. On la porte au rouge avec la plus grande facilité quand cette température est nécessaire.

Pour les températures comprises entre 60 et 225° qui sont celles dont on a le plus souvent besoin, voici le dispositif adopté. Il permet d'avoir une chaleur obscure sans que la sensibilité de l'œil puisse être affaiblie par aucun filet lumineux.

On se procure pour une dizaine de francs, chez un marchand quelconque d'appareils photographiques, une de ces lampes à trois becs à cheminée métallique servant à l'éclairage des appareils de projection. Sur l'extrémité supérieure de la cheminée, qui est garnie latéralement de trous pour le passage de l'air, on pose horizontalement, afin de cacher entièrement la lumière, et avoir une surface plane destinée à recevoir les corps à échauffer, le couvercle à rebords d'une de ces boîtes métalliques dans lesquelles se vendent les biscuits. La plaque de verre ou de mica d'où sort la lumière de la lampe, et qui glisse dans des rainures, est remplacée par une plaque de métal qui masque ainsi tous les rayons visibles. Comme il en sort encore un peu par la partie inférieure de l'appareil, on l'entoure d'un carton qui l'enveloppe entièrement.

Ainsi constitué, l'appareil suffit pour les recherches où la chaleur seule entre en jeu.

Mais dans beaucoup d'expériences sur la phosphorescence invisible, on a besoin d'une source abondante de radiations infrarouges ayant une longueur d'onde déterminée. Pour les obtenir, il suffit de remplacer la plaque métallique placée à la partie antérieure de la lampe, pour masquer sa lumière, par une lame d'ébonite de 0^{mm},5 environ d'épaisseur, emprisonnée entre deux lames de verre qui l'empêchent de se déformer par la chaleur. On peut remplacer avec avantage l'ébonite par du verre noir, mais celui de bonne qualité, c'est-à-dire assez opaque pour qu'on ne puisse pas voir le disque du soleil à travers, et en même temps transparent

à l'infra-rouge, étant difficile à se procurer je n'insiste pas sur son emploi.

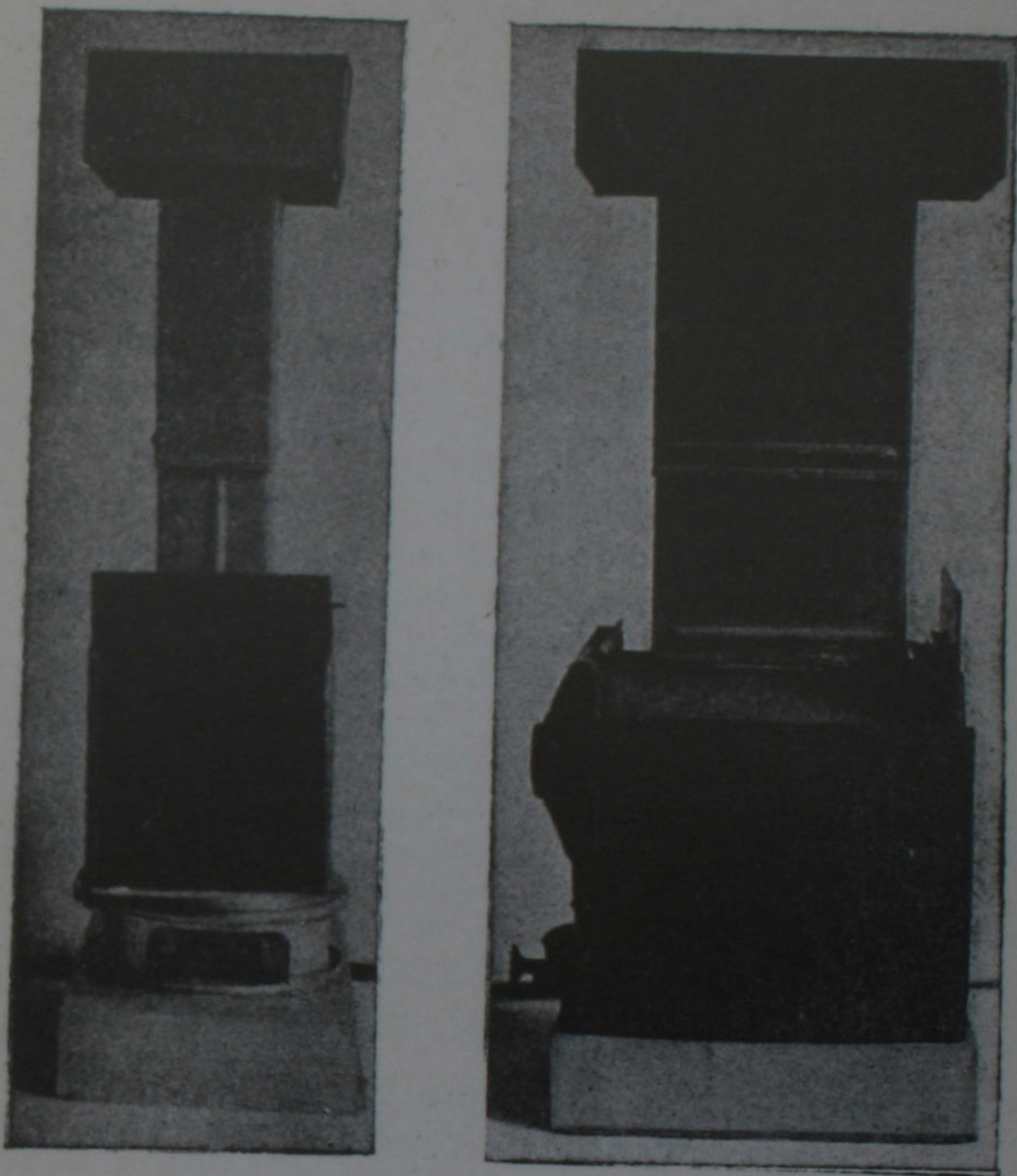


FIG. 22 et 23. — *Vue de face et de profil de la lampe noire employée pour l'étude de la phosphorescence et pour la production de radiations invisibles de grandes longueurs d'onde.*

Dans ces conditions, la lampe donne les températures suivantes :

A. *Température de la paroi du couvercle posé sur la partie supérieure de la cheminée métallique de la lampe :*

1° Avec les 3 mèches allumées, environ 225° ;

2° Avec 2 mèches allumées, environ 130° ;

3° Avec 1 mèche allumée, environ 65° ;

B. *Température de la paroi verticale de la cheminée métallique de la lampe, avec 3 mèches allumées, environ 105° ;*

C. *Température à 1 centimètre de la paroi verticale de la cheminée*, environ 50°;

D. *Température devant la lame d'ébonite ou de verre noir*. A 2 millimètres de leur surface elle n'est que de 30 degrés, mais à travers ces corps passe une grande quantité de radiations infra-rouges invisibles dont une notable partie est comprise dans la région du spectre allant de $0\mu,8$ à 3μ environ. Ce sont celles qui agissent sur les substances phosphorescentes et jouissent de la propriété de traverser les corps opaques, comme nous le verrons dans un autre chapitre.

Toutes les parois métalliques de la lampe émettent naturellement aussi de l'infra-rouge, comme tous les corps chauffés; mais ces radiations ayant une longueur d'onde de 5 à 10μ et au delà n'agissent pas sur les corps phosphorescents.

Ainsi est constituée la source de chaleur et de radiations obscures que nous avons désignée sous le nom de *lampe noire*.

Cet appareil doit être placé dans un cabinet tout à fait obscur. Il est préférable de faire les expériences le soir, parce que l'œil est alors beaucoup plus sensible aux faibles éclairages. Si on opère le jour, on doit rester un quart d'heure dans l'obscurité, et l'insolation, soit au magnésium, soit au soleil, des corps phosphorescents, doit être faite par un aide, pendant que l'observateur reste enfermé. Cette dernière précaution est indispensable. Bien des phénomènes nous avaient échappé aux débuts de nos expériences faute de l'avoir observée.

§ 2. — PROPRIÉTÉS DES CORPS PHOSPHORESSENTS PAR LA CHALEUR.

La liste des corps phosphorescents par la chaleur est fort longue, bien que dans les traités de minéralogie il en soit seulement cité un petit nombre : la fluorine, le spath fluor, la topaze, diverses variétés de phosphate de chaux, la leucophane, le diamant, notamment.

A ces divers corps il faut en ajouter un très grand nombre. Parmi ceux que j'ai examinés, je citerai surtout : l'émeraude de Sibérie et celle de Bogota, l'améthyste d'Auvergne (et non celle de Madagascar), la chlorospinelle, l'opale, la cryolite, la schéelite,

la wagnérite, la phénakite, la pétalite, le castor, le pollux, la colemanite, le talc, la baryte, etc.

La plupart de ces composés ont été formés par voie aqueuse. Les corps très phosphorescents à la lumière, c'est-à-dire les sulfures alcalino-terreux, n'acquièrent au contraire la propriété de devenir phosphorescents qu'après avoir été soumis pendant leur fabrication à une haute température.

Plusieurs des corps phosphorescents par la chaleur, notamment l'opale d'Australie, la leucophane, l'apatite d'Estramadure, et la presque totalité des diverses variétés de fluorine, deviennent également phosphorescents par exposition à la lumière; mais leur phosphorescence étant dans ce cas très faible, on ne la perçoit qu'après un séjour d'un quart d'heure dans l'obscurité.

Les précédents corps possédant des propriétés identiques et ne différant entre eux que par l'intensité de leur phosphorescence, sa durée et la température à laquelle elle se manifeste, je me bornerai à étudier quelques-uns de ceux présentant la plus vive phosphorescence: l'apatite d'Estramadure et la fluorine verte, notamment.

L'apatite d'Estramadure, qu'on se procure facilement en grande quantité est le corps dont la phosphorescence se manifeste à la température la plus basse. Réduite en poudre et mise dans un tube placé ensuite dans un bain de sable ou dans de l'eau chauffée lentement dans l'obscurité, elle commence à briller faiblement à 51 degrés. Chauffée à 200 degrés, elle acquiert une phosphorescence brillante qui se prolonge pendant environ une heure, à la condition, bien entendu, de ne pas dépasser cette température. Quand on la chauffe au rouge son éclat devient beaucoup plus vif encore, mais se dissipe en moins d'une minute.

Les nombreuses variétés de fluorine se comportent

à peu près comme l'apatite, mais sont toujours moins lumineuses.

La température à laquelle les fluorines deviennent phosphorescentes varie beaucoup avec les échantillons. J'en ai examiné une trentaine, d'origines différentes, et constaté que la plupart brillent avant 200 degrés. Les variétés s'illuminant à la plus basse température sont celles de Morgen (Saône-et-Loire), des Pyrénées et de Schwarzenbergen (Saxe). Elles commencent à briller vers 62 degrés.

On a écrit que les fluorines transparentes ne donnaient pas de phosphorescence par la chaleur. Cette assertion erronée ne peut tenir qu'à l'imperfection de la méthode d'observation. Toutes les fluorines examinées, y compris celles incolores et transparentes comme du verre qui servent à fabriquer des prismes et des lentilles, sont phosphorescentes par la chaleur. Je n'ai d'ailleurs trouvé qu'un seul échantillon de fluorine non phosphorescente par la chaleur, la variété cubique jaunâtre en petits cristaux d'Herblay.

Les fluorines sont légèrement phosphorescentes par la lumière, sauf la variété jaune qui vient d'être mentionnée et une fluorine cristallisée verte de Durham (Angleterre).

Lorsqu'après expulsion par la chaleur de toute leur phosphorescence les corps précédents sont exposés au soleil et chauffés de nouveau, ils brillent encore, mais beaucoup moins que la première fois.

La propriété de plusieurs corps tels que la fluorine, d'être à la fois phosphorescents par la chaleur et la lumière, a été l'origine d'une erreur qui traîne depuis un siècle dans tous les traités de minéralogie et que les divers auteurs, y compris Edmond Becquerel, ont répétée sans s'être jamais donné la peine d'en vérifier les fondements. Suivant eux, certaines variétés de fluorine verte désignées sous le nom de

chlorophane brilleraient indéfiniment dans l'obscurité à la température de 30 degrés, c'est-à-dire pendant presque tout l'été dans nos climats et éternellement dans les pays chauds. Voici comment s'exprime à ce sujet Beudant (*Minéralogie*, 2^e édition, t. I^{er}, p. 203) :

« Il y a des variétés qu'on a désignées sous le nom
« de *chlorophane* dont quelques-unes sont phospho-
« rescentes à la température moyenne de notre cli-
« mat, en sorte qu'elles brillent constamment dans
« l'obscurité ; d'autres n'ont besoin que de la tempé-
« rature de la main... »

Le plus récent et le plus important des traités de minéralogie allemands, celui de Naumann et Zirkel, s'exprime d'une façon analogue :

« Beaucoup de topazes, de diamants, de fluorines,
« deviennent phosphorescents à la température de
« la main... La fluorine verte (*chlorophane*) reste
« souvent brillante pendant des semaines après avoir
« été insolée. »

Bien que le fait énoncé par les minéralogistes fût théoriquement peu vraisemblable, j'ai tenu, en raison de ses conséquences, à le vérifier. J'ai donc examiné d'innombrables échantillons de la variété de fluorine, dite *chlorophane*, venus des plus importants comptoirs minéralogiques de l'Europe. Aucun n'a brillé ni à 30 degrés ni à la température de la main.

Il devait évidemment en être ainsi. Supposons, en effet, qu'ils aient pu briller de 30 à 37 degrés. Ayant été bien des fois exposés à cette température depuis leur formation géologique, ils auraient perdu depuis longtemps leur provision de phosphorescence, à moins de les faire rentrer dans la catégorie des corps radio-actifs spontanément et perpétuellement phosphorescents.

Après avoir constaté que le fait énoncé par des physiciens comme E. Becquerel, et des minéralogistes comme Beudant était inexact, il fallait déterminer les

causes de leur méprise. Son explication est très simple.

Les fluorines en question acquièrent par insolation une phosphorescence très faible et qu'un œil non reposé ne voit pas dans l'obscurité. Si on les chauffe légèrement ensuite en les tenant dans la main, il arrive, comme pour tous les corps phosphorescents, que leur luminosité rendue plus vive se perçoit alors aisément et l'observateur en conclut que c'est la chaleur de la main qui est l'origine de la phosphorescence.

Pour s'assurer qu'il n'en est rien, on laisse le même échantillon 48 heures dans l'obscurité. Le mettant alors de nouveau dans le creux de la main on constate qu'il ne brille plus du tout. Si on l'expose alors à la lumière et le remet ensuite dans la main, il brillera aussitôt. L'exposition à la lumière était donc l'origine du phénomène.

L'erreur, reproduite si fidèlement, dans les traités de minéralogie, tenait donc simplement à ce que les opérateurs avaient laissé leur fluorine exposée à la lumière avant de la placer dans la main. Loin de pouvoir briller tout l'été, la fluorine ne conserve pas cette propriété après l'insolation plus longtemps que les corps phosphorescents ordinaires, c'est-à-dire quelques heures.

Quelle est l'origine de la phosphorescence de certains corps sous l'influence de la chaleur? Les sulfures phosphorescents peuvent conserver indéfiniment une partie de l'énergie emmagasinée après leur exposition à la lumière. Ne pourrait-on pas dès lors supposer que la phosphorescence émise sous l'influence de la chaleur est due à ce que les corps qui la manifestent furent souvent manipulés à la lumière avant d'arriver dans les mains de l'observateur? Leur phosphorescence serait alors d'origine récente et analogue à celle conservée pendant des années, par les sulfures,

après leur insolation, et qu'on peut faire apparaître en les chauffant.

Afin de résoudre cette question, il fallait observer des corps n'ayant pas vu la lumière depuis leur formation géologique.

Pour y arriver, il nous a suffi de briser dans l'obscurité absolue de gros blocs de substances faciles à se procurer en grande masse, tels que l'apatite et la fluorine, d'extraire des fragments du centre de ces blocs et de les soumettre à l'influence de la chaleur. Ces fragments brillaient aussi vivement que ceux pris à la surface des blocs. Leur phosphorescence par la chaleur n'était donc pas due à un résidu provenant de l'action récente de la lumière.

En étudiant les causes de la phosphorescence, nous verrons que la lumière manifestée par les corps sous l'influence de la température est le résultat de réactions chimiques dont la chaleur provoque la formation. Pour les corps phosphorescents par la lumière à la température ordinaire, ces combinaisons se refont facilement après avoir été défaits, c'est pourquoi on leur rend toute leur phosphorescence en les exposant de nouveau à la lumière quand ils sont devenus obscurs. Pour les corps ne devenant phosphorescents qu'à une température plus ou moins élevée et qui ne reprennent que très faiblement l'aptitude à une phosphorescence nouvelle par la chaleur après insolation, il est probable que les combinaisons détruites par la température ne se refont que très incomplètement par la lumière. Nous verrons cependant qu'elles peuvent se régénérer entièrement sous l'influence de l'électricité. On peut rendre ainsi aux corps l'ayant perdue la propriété de briller vivement de nouveau sous l'influence de la chaleur.

L'aptitude des corps à redevenir phosphorescents à la lumière après avoir été chauffés ne se perd d'ail-

leurs que très difficilement. Tous ceux sur lesquels j'ai expérimenté, fluorine, leucophane, apatite, etc., ont dû être calcinés au rouge pendant 15 heures avant de la perdre. Dix heures de calcination étaient insuffisantes.

Comment agit une température prolongée ? Pourquoi ôte-t-elle à un corps son aptitude à donner de la phosphorescence ?

La première idée venant à l'esprit est que la calcination détruit certaines substances étrangères nécessaires à la phosphorescence.

Cette hypothèse semble d'abord justifiée par le changement d'aspect qu'éprouve un petit nombre de corps soumis à cette calcination. L'améthyste violette calcinée se décolore entièrement et devient aussi transparente que du verre. Elle a évidemment perdu alors quelque chose produisant la phosphorescence puisqu'on ne peut plus la lui rendre ensuite par l'action de la lumière ou de la chaleur.

Ce qui est vrai pour l'améthyste, et peut-être aussi pour d'autres corps, cesse entièrement de l'être pour la grande majorité des substances phosphorescentes. En les calcinant pendant 15 heures, nous avons détruit leur propriété de redevenir phosphorescents par la chaleur après insolation. Mais en opérant ainsi, nous n'avons éliminé aucun élément étranger. Nous avons simplement détruit l'aptitude des corps en présence à se combiner chimiquement. La preuve en est fournie par ce fait qu'au moyen d'un traitement convenable, on peut rendre aux corps calcinés l'aptitude à devenir aussi phosphorescents par la chaleur, qu'ils l'étaient avant la calcination.

Pour rendre à un corps calciné son aptitude à la phosphorescence il suffit de le faire traverser pendant quelque temps par des étincelles électriques.

Cette propriété de l'étincelle électrique avait été

sommairement constatée dès les premières années du dernier siècle. Cependant comme on ne connaissait pas alors la bobine d'induction, il nous a semblé utile de reprendre l'étude du phénomène.

Les corps soumis à l'influence de l'étincelle d'induction étaient placés dans un tube de verre fermé à ses deux extrémités par des bouchons de liège, au travers desquels passaient deux tiges de cuivre, en relation avec une forte bobine. En rapprochant ou éloignant ces tiges, on avait à volonté des étincelles de 1 à 15 centimètres.

La longueur de l'étincelle a une action manifeste. Si l'on électrise par exemple du carbonate de chaux avec une étincelle de 2 centimètres, il brille très faiblement à 200 degrés et très vivement au contraire à cette température si l'étincelle est de 15 centimètres.

La durée de l'électrisation a aussi une influence notable. Si l'on électrise 5 secondes seulement du verre pilé, il brille faiblement à 200 degrés et vivement au contraire si l'action de l'étincelle a été prolongée 5 minutes.

D'une façon générale, l'électricité rend seulement plus vive la phosphorescence qui, sans son influence, aurait été très faible ; mais elle ne la communique jamais à des corps n'en possédant aucune trace. Elle abaisse, en outre, la température à laquelle ils commencent à briller par la chaleur. Des diamants du Cap, à peine phosphorescents au-dessous de 200 degrés, brillent vivement à cette température après le passage de l'électricité. Du Spath de Bologne qui ne brille qu'à 500 degrés sans électrisation, brille à 200 degrés dès qu'il a été électrisé.

Il existe bien un très petit nombre de corps ne présentant aucune trace de phosphorescence à 500 degrés, qui en donnent une très légère à cette température à la suite de l'électrisation. Tel est, par exemple, le bromure de baryum. Mais alors, on peut supposer qu'ils manifestaient avant l'électrisation une phos-

phorescence trop légère pour être perçue. Je fonde cette conclusion sur le fait général que l'électrisation ne fait que rendre plus vive une faible phosphorescence. Même à des corps possédant une phosphorescence intense quand ils sont impurs, tels que les sulfures de calcium, de baryum, de strontium et de zinc, l'étincelle électrique ne communique aucune trace d'aptitude à la phosphorescence, s'ils sont purs.

Les seuls corps auxquels on ne puisse rendre aucune phosphorescence par l'électricité sont ceux auxquels la calcination fait perdre réellement quelque chose. Tel est le cas de l'améthyste qui, calcinée, perd sa matière colorante. Dans tous les autres corps phosphorescents par la chaleur, l'électrisation rend la phosphorescence perdue par calcination. Nous l'avons constaté notamment pour de la fluorine, de l'apatite et de la leucophane qui, calcinées pendant 15 heures, avaient perdu la propriété de redevenir phosphorescentes par la chaleur après insolation.

Il semble donc bien prouvé que, lorsqu'on détruit dans un corps l'aptitude à la phosphorescence par une calcination suffisamment prolongée, cette dernière n'agit pas le plus souvent en éliminant des corps étrangers, mais bien en modifiant certains équilibres chimiques que seule l'étincelle électrique est apte à rétablir.

§ 3. — ANALOGIES ENTRE LA PHOSPHORESCENCE DES CORPS PAR LA LUMIÈRE ET PAR LA CHALEUR.

L'ensemble des observations précédentes a déjà dû faire naître dans l'esprit du lecteur l'existence d'une parenté très grande entre la phosphorescence par la chaleur et celle par la lumière. Les expériences qui vont suivre prouvent définitivement que ce sont des phénomènes du même ordre.

Prenons des corps phosphorescents par la chaleur, tels que la fluorine et l'apatite, ou des corps phosphorescents par la lumière, restés quelques jours dans l'obscurité après insolation, tel que du sulfure de calcium. Plaçons-les sur une plaque chauffée à 100 degrés. Ils deviendront immédiatement lumineux, brilleront pendant un certain temps, puis s'éteindront complètement. Sans sortir de l'obscurité, plaçons les mêmes corps sur une seconde plaque chauffée à 200 degrés. De nouveau, ils brilleront, puis s'éteindront. Nous pourrions continuer la même expérience à toutes les températures jusqu'à 5 ou 600 degrés et nous verrons à chaque accroissement de chaleur le corps briller, puis s'éteindre. Ce n'est qu'après avoir été chauffé suffisamment longtemps au rouge, qu'il aura perdu toute sa phosphorescence.

Ces expériences montrent qu'à *une température donnée correspond une certaine émission de phosphorescence ne pouvant jamais être dépassée à cette température*. Un corps phosphorescent chauffé à 200 degrés n'abandonnera de sa phosphorescence que ce qu'il peut perdre à 200 degrés ou au-dessous, et jamais la provision qui serait émise à une température supérieure.

De ces premières expériences, il nous fût possible de déduire immédiatement qu'un corps phosphorescent peut conserver indéfiniment une certaine provision de phosphorescence jusqu'à ce qu'il soit chauffé à une température convenable. Nous avons pu le vérifier avec divers sulfures alcalino-terreux, notamment du sulfure de calcium, resté près de dix ans à l'abri de toute lumière, du sulfure de strontium, de M. Mourelo, resté cinq ans dans une boîte fermée, des diamants conservés pendant un an dans l'obscurité, etc.

Canton, qui observa un des premiers la phosphorescence, paraît avoir pressenti la loi précédente.

Ayant chauffé un sulfure dans de l'eau bouillante quelque temps après son insolation, et ne l'ayant pas vu briller, il le rendit lumineux en le portant à 500 degrés, mais ni lui ni ses successeurs n'essayèrent de préciser les conditions du phénomène et ne soupçonnèrent pas sa durée.

Dans les expériences relatées plus haut, nous avons élevé progressivement la température des corps et prouvé de cette façon qu'à chaque degré de chaleur correspond une certaine émission de phosphorescence qui ne peut être dépassée.

Procédons maintenant d'une façon inverse, c'est-à-dire chauffons le corps immédiatement à 500 degrés, sans prolonger assez l'échauffement pour arriver à l'extinction complète de la phosphorescence. Laissons-le refroidir, puis portons le corps à 200 degrés seulement. Qu'arrivera-t-il ?

Dans ce dernier cas, le corps chauffé à 500 degrés émettra d'abord ce qu'il pouvait perdre à toutes les températures inférieures et par conséquent ne pourra plus briller au-dessous de 500 degrés. Pour lui rendre sa phosphorescence, il faudra le chauffer de nouveau à 500 degrés ou au-dessus.

Cette loi générale de l'émission de la phosphorescence en fonction de la température, déjà indiquée dans le chapitre précédent, permet de réunir en une seule classe certains corps phosphorescents par la lumière et la chaleur, séparés jusqu'ici. Nous pouvons très aisément en effet transformer les corps phosphorescents par la lumière en corps phosphorescents par la chaleur. Des sulfures de calcium, de zinc ou de strontium, maintenus dans l'obscurité pendant des années après leur insolation, sont identiques aux corps phosphorescents par la chaleur, tels que l'améthyste, la fluorine, la leucophane et l'apatite. Il suffira également de les chauffer vers 70 degrés pour les voir briller.

L'analogie peut être, d'ailleurs, poussée beaucoup plus loin. Les substances dites phosphorescentes par la chaleur, ne brillent qu'à des températures déterminées variant entre $+50$ et $+300$ degrés, suivant les corps observés. Les sulfures lumineux, brillant quand on les insole à la température ordinaire, diffèrent des corps précédents uniquement parce que la température à laquelle ils cessent de briller est bien plus basse. Dewar, je l'ai dit déjà, a montré que dans l'air liquide les corps insolés n'acquièrent pas de phosphorescence, mais en manifestent dès qu'on les laisse revenir à la température ambiante. Porter à la température ambiante des corps refroidis à -180 degrés environ, cela signifie simplement qu'on les chauffe de plus de 200 degrés¹. Des sulfures obscurs à -180 degrés et brillant à 0 degré sont analogues à des corps qui deviennent phosphorescents par la chaleur à la température de $+200$ degrés. Les uns et les autres ne sont phosphorescents que suffisamment chauffés. Un sulfure phosphorescent maintenu indéfiniment à -190 degrés resterait toujours obscur, tout comme de l'apatite maintenue indéfiniment à une température inférieure à $+50$ degrés. Les deux corps ne diffèrent, je le répète, que par la température à laquelle ont lieu les combinaisons s'accompagnant de phosphorescence.

Les corps phosphorescents par la chaleur, chauffés assez pour que leur phosphorescence s'éteigne, ne peuvent, comme il a été dit, en récupérer par exposition à la lumière qu'une très faible partie. Cela tient probablement à ce que la réaction chimique, produisant la phosphorescence, n'est pour certains corps que partiellement régénérée par la lumière,

1. Ce sont là des écarts d'ailleurs beaucoup trop grands. Les divers sulfures phosphorescents cessent de briller bien avant -180° et redeviennent phosphorescents bien avant 0° . Cette température varie du reste suivant les divers sulfures.

alors qu'elle l'est en totalité pour d'autres, les sulfures phosphorescents et le diamant, notamment. Ce sont là des nuances plutôt que des différences fondamentales. Il n'existe aucune barrière réelle entre les corps phosphorescents par la lumière et ceux phosphorescents par la chaleur.

De ce qui précède, on peut déduire les lois suivantes applicables à tous les corps phosphorescents par la lumière ou la chaleur :

1° Il n'y a pas de corps phosphorescents sans chaleur. Un corps pouvant être rendu phosphorescent par la lumière, ne manifestera sa phosphorescence qu'à une certaine température ;

2° Pour chaque corps phosphorescent il y a une température minima, au-dessous de laquelle l'exposition à la lumière ne saurait produire de phosphorescence visible ;

3° A chaque température correspond une certaine émission de phosphorescence ne pouvant être dépassée.

4° Les corps que la chaleur rend phosphorescents le deviennent également par la lumière, mais faiblement. Ils diffèrent seulement de ceux vivement phosphorescents par la lumière, en ce que chez ces derniers les rayons lumineux régénèrent entièrement la phosphorescence détruite au lieu de ne la régénérer qu'en partie.

CHAPITRE III

Phosphorescence provenant d'autres causes que la lumière et la chaleur.

(Phosphorescence par réactions chimiques. Phosphorescence
des êtres vivants. Phosphorescence des gaz, etc.)

§ 1. — PHOSPHORESCENCE PAR LE CHOC ET LE FROTTEMENT.

Un grand nombre de corps deviennent phosphorescents par le frottement ou le choc. Pour quelques-uns, l'apatite, la leucophane, le diamant, le sucre, l'uraniu, les chocs ou frottements peuvent être légers, pour d'autres tels que la fluorine, le silex, ils doivent être assez énergiques.

Violents ou faibles, ils n'engendrent qu'une élévation de température tout à fait insuffisante pour les porter à l'incandescence. La chaleur ne pourrait donc pas produire la phosphorescence observée dans les substances mentionnées.

Le choc ou le frottement ne semblent pas non plus déterminer le travail préliminaire nécessaire à une réaction qui se propagerait ensuite de proche en proche, comme dans la décomposition de l'iodure d'azote par exemple. La phosphorescence par choc ou frottement ne survit pas, en effet, à la disparition de sa cause comme celle due à la lumière.

L'oxygène de l'air ne joue aucun rôle dans la phos-

phorescence par le choc, favorisée au contraire par son absence totale, c'est-à-dire par le vide. Un tube privé d'air et contenant un peu de mercure devient lumineux, dès que le métal se trouve déplacé par un léger mouvement.

Plusieurs des corps que le frottement rend phosphorescents le deviennent aussi sous l'action de la lumière et de la chaleur. Il en existe cependant un petit nombre, tel que l'uranium métallique exclusivement phosphorescents par le frottement.

Si on détruit par une calcination très prolongée la propriété dont jouissent certains corps : fluorine, apatite, leucophane, d'être phosphorescents sous l'influence de la chaleur, ces substances gardent la faculté de devenir lumineuses par le frottement. Nous remarquerons d'un autre côté que des corps à peine phosphorescents par la chaleur, comme les diamants du Cap, le sont vivement par le frottement.

Il semblerait résulter de ces expériences que les réactions donnant aux corps une aptitude à la phosphorescence lumineuse et calorifique, sont autres que celles les faisant briller à la suite d'un frottement ou d'un choc. Il s'agit probablement de causes différentes produisant un même effet.

§ 2. — PHOSPHORESCENCE PAR LES RAYONS X, LES RAYONS CATHODIQUES ET LES EFFLUVES DE HAUTE FRÉQUENCE.

Les phénomènes de phosphorescence par les causes que je viens de mentionner sont très connus et j'aurai peu de chose à y ajouter.

On sait qu'un grand nombre de corps et parmi eux des composés non phosphorescents par d'autres procédés, comme les rubis, deviennent extrêmement lumineux lorsqu'on les expose au bombardement des gaz raréfiés d'une ampoule de Crookes. La phospho-

rescence de ceux susceptibles de briller également par la lumière tels que le diamant et certains sulfures est très augmentée. Il suffit même de les placer dans un tube de Geissler soumis à des étincelles d'induction. J'ai pu obtenir avec du sulfure de calcium introduit dans un de ces derniers une phosphorescence dont l'éclat à surface égale atteignait les $7/10^{\text{es}}$ d'une bougie.

Les rayons X sortis d'un tube de Crookes ne provoquent qu'une faible phosphorescence, et seulement sur un petit nombre de corps, contrairement à ce qu'on croit généralement. Même pour ceux phosphorescents par la lumière ordinaire ou ultra-violette, l'illumination est légère. Les rayons X illuminent extrêmement peu le sulfure de calcium, beaucoup moins que ne le ferait une simple bougie. Ils illuminent médiocrement, c'est-à-dire beaucoup moins que la lumière ordinaire du jour, le sulfure de zinc et diffèrent tout à fait en ceci des radiations ultra-violettes auxquelles on a voulu les assimiler pendant longtemps.

Sur les substances dites fluorescentes, c'est-à-dire dont la phosphorescence ne survit pas à la cause qui la produit, les rayons X agissent au contraire vivement, se comportant bien alors comme les rayons ultra-violets, mais plus énergiquement. C'est même, on le sait, cette propriété qui les fit découvrir et rendit utilisables. Le platino-cyanure de baryum, dont sont formés les écrans radiographiques, n'est pas le seul sel qui devienne vivement lumineux sous leur action. L'apatite, la leucophane, la fluorine et surtout les diamants du Brésil, sont illuminés aussi, quoique plus faiblement.

Beaucoup de corps : diamants, sulfure de zinc, etc., lumineux sous l'influence des rayons X, le deviennent aussi sous l'action des sels de radium. Des diamants du Cap, non phosphorescents par la lumière, le sont

en présence du bromure de radium, même quand ce sel est enfermé dans un mince tube métallique.

Crookes a remarqué que des diamants mis en contact pendant plusieurs mois avec du radium, acquéraient une telle radio-activité qu'elle ne disparaissait pas quand on les chauffait au rouge sombre.

L'ensemble des phénomènes précédents nous montre certains corps devenant phosphorescents par des causes fort diverses : lumière, choc, rayons cathodiques, rayons X, etc.; ces causes agissent peut-être, comme je l'ai déjà dit, en produisant des réactions sinon identiques, au moins de même ordre.

§ 3. — PHOSPHORESCENCE PAR RÉACTIONS CHIMIQUES.

Pendant longtemps, la seule réaction chimique connue produisant la phosphorescence était la lente oxydation du phosphore. On sait, par des investigations récentes, que la phosphorescence accompagne un nombre considérable de réactions.

La plupart d'entre elles, d'ailleurs mal définies, résultent de mélanges assez complexes. Ainsi, par exemple, celles produites en mélangeant certains corps organiques, comme l'esculine ou diverses essences avec une solution alcoolique de potasse, et encore celle obtenue en versant une solution de sulfate d'alumine ou de chlorure d'or dans une solution alcaline de pyrogallol ¹.

Pour arriver à préciser les causes de la phosphorescence par actions chimiques, il fallait pouvoir les produire par des réactions beaucoup plus nettes que

1. On a cité dans ces derniers temps, comme produisant une phosphorescence assez vive, un mélange de : 10^{cc} de solution à 10 % d'acide pyrogallique, 20^{cc} de solution à 40 % de carbonate de potasse, 10^{cc} d'une solution de formol à 30 %. Ce mélange deviendrait phosphorescent en y ajoutant 30 % d'eau oxygénée concentrée.

les précédentes : l'oxydation ou l'hydratation de composés bien définis, par exemple. C'est ce que nous avons tâché de réaliser.

Les phosphorescences par oxydation sont exceptionnelles. Celle du phosphore n'est pas très probablement due à une simple oxydation, comme je l'ai montré ailleurs.

J'en ai obtenu d'autres par oxydation, mais elles sont aussi voisines de l'incandescence que de la phosphorescence et constituent peut-être une transition entre les deux. Tel est notamment le cas de l'uranium.

Posons une lame de ce métal (de 1 millimètre environ d'épaisseur) sur une plaque chauffée à 600 degrés environ. Elle devient très brillante. Retirons-la avec une pince, elle continue à briller pendant deux ou trois minutes, ce qui n'arriverait pas s'il s'agissait d'un simple phénomène d'incandescence. La même opération peut être répétée plusieurs fois, mais la durée de la luminosité du métal devient chaque fois moins longue, et finalement — quand il s'est entièrement oxydé sans doute — la chaleur ne produit plus sur lui aucun effet.

La seule réaction nettement définie qui m'ait permis d'obtenir de la phosphorescence est l'hydratation. Les cas les plus nets sont ceux des sulfates de quinine ou de cinchonine. Chauffés à 150 degrés ces sels perdent une partie de leur eau et, après avoir brillé un instant, redeviennent ensuite complètement obscurs. Quand ils sont dépouillés ainsi de toute leur phosphorescence, on les laisse se refroidir; ils s'hydratent aussitôt au contact de l'air, recommencent à être phosphorescents et en même temps radio-actifs. Je n'insisterai pas sur cette expérience dont j'ai donné les détails dans *l'Évolution de la Matière*. En raison de son importance théorique considérable au point de vue des causes de la radio-activité, elle fut l'objet d'import-

tants mémoires. L'exactitude de mes observations s'est trouvée ainsi nettement confirmée.

On peut, dans l'expérience précédente, rendre l'emploi de la chaleur complètement inutile. Il suffit de mélanger dans un flacon le sulfate de quinine avec un peu d'acide phosphorique anhydre qui le déshydrate immédiatement. On l'hydrate de nouveau simplement en projetant l'haleine à sa surface. Les personnes ignorant la théorie de l'opération sont toujours fort surprises quand on leur montre un corps devenant phosphorescent en soufflant dessus.

Le sulfate de quinine n'est pas le seul composé phosphorescent par hydratation. J'ai trouvé toute une série de corps présentant le même phénomène, notamment la magnésie ordinaire, le sulfate de chaux du commerce et l'alumine hydratée¹. Ils ne diffèrent du sulfate de quinine que parce qu'ils deviennent phosphorescents par déshydratation seulement, au lieu de l'être, comme le premier, par hydratation et déshydratation. En outre, comme ces corps se déshydratent lentement et difficilement, il est nécessaire de les chauffer vers 500 degrés pour bien observer le phénomène.

La phosphorescence se constate facilement avec le sulfate de chaux et surtout la magnésie ordinaire très lumineuse en se déshydratant. Elle est moins apparente avec l'alumine.

Si, après avoir chauffé ces composés pendant quelques minutes, jusqu'à extinction de la phosphorescence, on les laisse se refroidir dans l'obscurité et qu'on les chauffe de nouveau, ils brillent encore. Mais la luminosité s'avive quand on rend leur hydratation plus complète, en les mouillant avec un peu d'eau

1. Je ne mentionne que les corps les plus faciles à se procurer et avec lesquels la phosphorescence est la plus vive. Il en est bien d'autres, l'oxyde de thorium par exemple, qui produisent de la phosphorescence par déshydratation; mais elle est fort légère.

avant de les chauffer. Dès que la chaleur est suffisante pour produire la déshydratation, ils deviennent très phosphorescents.

La phosphorescence ainsi obtenue peut se répéter indéfiniment sur le même corps à la simple condition de le mouiller dès qu'il est desséché par la chaleur. Ce n'est pas du tout, nous l'avons vu, le cas des corps phosphorescents par simple élévation de température. Refroidis, puis rechauffés, ces derniers ne deviennent plus phosphorescents à moins d'avoir été exposés d'abord à la lumière.

Les sels de radium perdent, ainsi que je l'ai montré dans un travail antérieur, leur phosphorescence en s'hydratant. Ceux très actifs la reprennent de suite après avoir été déshydratés par la chaleur; peu actifs, ils la reprennent seulement quelques jours après leur dessiccation.

§ 4. — PHOSPHORESCENCE DES ÊTRES VIVANTS.

La phosphorescence des êtres vivants fut considérée pendant longtemps comme un phénomène assez rare manifesté par un très petit nombre d'animaux et de végétaux.

Elle avait été observée cependant de toute antiquité. Sans parler de la « mer de feu », connue nécessairement des navigateurs, dont la luminosité est produite par la présence d'infusoires, les anciens auteurs ont mentionné la phosphorescence de certains animaux marins. Pline avait fait remarquer que le liquide s'écoulant des pholades rend lumineuses dans l'obscurité les lèvres et les mains de ceux qui mangent ces mollusques. Fisher rapporte, dans son *Manuel de Conchyliologie*, que Réaumur « a constaté que des fragments de ces animaux restent lumineux après leur séparation du corps et que, desséchés, ils peu-

vent émettre de nouveau de la lumière lorsqu'ils sont humectés ».

Jusqu'à ces dernières années, le nombre des animaux phosphorescents connus était assez restreint. Personne ne pouvait soupçonner que les profondeurs si longtemps inaccessibles des vastes océans, où régnait, pensait-on, une nuit éternelle, étaient habités par d'innombrables êtres lumineux. Depuis que des instruments convenables permirent d'étudier les habitants des mers à plusieurs milliers de mètres de profondeur, tout un monde nouveau a été révélé.

On sut alors que le fond de la mer était tapissé de véritables forêts de polypiers phosphorescents, et que les plus petits comme les plus volumineux des animaux habitant ces profondeurs ténébreuses possèdent souvent des organes capables de les éclairer dans les abîmes où ils vivent.

Ces organes phosphorescents des animaux marins revêtent des dispositions très variées. Quelques-uns sont placés sur les diverses parties du corps; d'autres dans l'œil lui-même ou au-dessus, et ont été assez justement comparés à des lanternes de bicyclettes. Le docteur Richard, conservateur des collections du prince de Monaco, m'a montré toute une série d'animaux marins phosphorescents, notamment de grands poissons possédant de chaque côté du corps de véritables lanternes, qu'ils peuvent masquer à volonté. Tous ces êtres ont fait l'objet de nombreuses études, d'ailleurs presque exclusivement anatomiques.

A côté de ces animaux phosphorescents, il faut citer les bactéries lumineuses apparaissant sur le corps des poissons de mer peu de temps après leur mort et avant leur décomposition.

Elles peuvent être cultivées très facilement par les procédés classiques. On fabrique un excellent bouillon de culture avec de l'eau ordinaire contenant 3 % environ de sel marin et 1 % d'asparagine. Les flacons

vendus sous le nom de Lumière vivante à l'Exposition de 1900 furent obtenus avec des produits analogues. J'en ai préparé de semblables simplement en grattant avec une lame la surface d'un hareng et introduisant la partie grattée dans des ballons pleins du liquide précédent. Au bout de vingt-quatre heures ils possèdent une luminosité qui se conserve pendant trois ou quatre jours.

Malgré diverses recherches on n'est pas parvenu à déterminer les corps chimiques produisant la phosphorescence. On sait seulement que ce phénomène peut survivre à l'existence de l'animal. Carus avait déjà vu que des organes lumineux du lamprocythe d'Italie, desséchés et broyés, reprenaient la phosphorescence perdue, simplement en les humectant.

Ces phénomènes de phosphorescence des êtres vivants sont dus à des réactions chimiques exigeant la présence de l'air et de l'eau. Quand ces deux éléments sont supprimés, elle disparaît. Nous avons montré plus haut que pour certains corps, bien définis, l'hydratation s'accompagnait toujours de phosphorescence.

Le spectre de la phosphorescence des êtres vivants paraît présenter quelques variations suivant les animaux. Il impressionne la plaque photographique très rapidement. J'ai pu reproduire des clichés avec deux minutes de pose en prenant, comme source lumineuse, des poissons devenus phosphorescents après leur mort, par le développement des bactéries lumineuses.

La phosphorescence des êtres vivants présente dans ses effets d'étroites analogies avec celle produite par les divers corps déjà examinés. Elle en diffère dans ses causes, puisqu'elle n'est engendrée ni par la lumière ni par la chaleur. Par ses effets comme par ses causes elle se rapproche beaucoup des phosphorescences par réactions chimiques examinées plus haut.

§ 5. — LA PHOSPHORESCENCE DES GAZ. — LES CAUSES
DE LA LUMIÈRE DES ASTRES.

L'étude des décharges électriques dans les gaz montre le rôle de l'électricité dans la production de la phosphorescence. Les causes diverses de ce phénomène étudiées précédemment, telles que la lumière et la chaleur, agissent peut-être en provoquant indirectement des manifestations électriques capables de produire la phosphorescence.

Pour la phosphorescence des gaz, le rôle de l'électricité est parfaitement net puisque seule elle peut les rendre lumineux. La chaleur la plus élevée, et alors même qu'on chauffe les gaz sous une épaisseur de un mètre, ne leur donne qu'une luminosité à peine perceptible; introduits à l'état raréfié dans un tube traversé par un courant électrique, ils deviennent au contraire très lumineux. Il suffit même pour obtenir la phosphorescence de placer le tube contenant le gaz raréfié dans le voisinage d'un résonateur de haute fréquence ou encore de le soumettre à l'action d'ondes électriques. Avec des tubes contenant de l'hélium, la luminosité est assez vive pour qu'on ait pu les employer comme révélateurs de ces ondes.

La phosphorescence obtenue par l'électrisation des gaz est relativement assez vive, mais jusque dans ces dernières années on n'espérait pas la rendre assez intense pour l'éclairage.

La remarquable découverte de la lampe à mercure montra l'éclairage par phosphorescence industriellement utilisable et prouva une fois de plus à quel point l'incandescence était indépendante de la phosphorescence.

On sait que cette lampe consiste dans un long tube de verre muni d'électrodes, l'une en fer, l'autre en mercure. Si, après y avoir fait le vide, on met les

électrodes en relation avec une source d'électricité, les traces de gaz et de vapeur de mercure qu'il contient deviennent vivement phosphorescents. Dans cette luminescence il n'y a évidemment aucun phénomène d'incandescence à invoquer, car la température à l'intérieur du tube est d'environ 125 degrés seulement, c'est-à-dire très inférieure à celle nécessaire pour rendre un corps incandescent; la flamme d'une bougie possède, comme on le sait, une température d'environ 1.700 degrés.

Le spectre de la phosphorescence des gaz tel que le donne la lampe à mercure contient fort peu de rouge et d'infra-rouge, aussi cette lumière est d'un rendement très supérieur à celui de l'éclairage ordinaire par incandescence. Pour obtenir ce dernier il faut d'abord produire une quantité énorme de radiations calorifiques invisibles et par conséquent inutiles. Nos procédés actuels d'éclairage sont barbares, comme on l'a reconnu depuis longtemps. Alors que l'idéal serait de produire seulement la partie du spectre visible et non sa partie invisible, une flamme de gaz ordinaire ou l'arc électrique contient seulement 1 % de radiations utiles, 99 % de l'énergie produite se manifeste sous forme de chaleur obscure. Cela revient à dire que lorsque nous brûlons pour 100 francs de gaz, 99 francs sont entièrement perdus et 1 franc seulement utilisé. Avec la phosphorescence d'une lampe à mercure, sur les 100 francs dépensés 40 francs paraissent servir à l'éclairage. Le rendement des animaux phosphorescents tels que le ver luisant, est encore très supérieur, puisque la presque totalité de l'énergie dépensée se transforme en lumière visible. L'éclairage par la phosphorescence sera probablement celui de l'avenir.

Il n'est pas pour cette seule raison nécessaire de poursuivre l'étude de la phosphorescence des gaz. J'ai toujours regretté qu'elle fût trop coûteuse pour mes

modestes ressources parce que je suis persuadé que sa connaissance approfondie ouvrira des aperçus tout nouveaux sur les plus grands problèmes de la physique et de l'astronomie.

La phosphorescence par actions électriques donne aux atomes les mêmes propriétés radiantes que la chaleur. L'énergie intra-atomique doit jouer un rôle dans la production de ce phénomène, car les gaz des tubes précédents sont fortement ionisés, c'est-à-dire dissociés par le passage du courant.

C'est probablement à l'influence d'actions électriques analogues à celles dont nous venons de montrer les effets, que certains astres, principalement composés de gaz comme le prouve leur spectre, doivent leur éclat lumineux. Puisque les corps gazeux ne peuvent briller par incandescence comme nous l'avons vu, il faut bien chercher d'autres causes que la chaleur à la lumière de beaucoup d'étoiles.

Mais si des astres sont simplement lumineux par les actions électriques analogues à celles étudiées plus haut, il s'ensuivrait que des étoiles auxquelles on attribue maintenant une chaleur extrêmement élevée pourraient être au contraire à une température relativement très basse. Ce ne serait peut-être qu'à une certaine phase de leur existence qu'elles brilleraient par incandescence.

CHAPITRE IV

Les causes de la phosphorescence.

I. — LA PHOSPHORESCENCE COMME MANIFESTATION DE L'ÉNERGIE INTRA-ATOMIQUE.

La phosphorescence représente la transformation en lumière d'énergies diverses dont quelques-unes seulement sont connues. Pour les gaz nous avons vu que l'énergie électrique était la seule cause possible de leur phosphorescence. Pour celle due à l'action de la lumière, de la chaleur et des réactions chimiques, d'autres phénomènes interviennent dont le mode d'action est indéterminé encore.

Des causes très diverses : lumière, choc, rayons X, pouvant produire la phosphorescence d'une même substance, on est fondé à croire que ces agents excitateurs si variés agissent en provoquant la manifestation de réactions sinon identiques, au moins du même ordre. La vieille théorie qui considérait les corps phosphorescents comme restituant simplement la lumière absorbée, de même qu'une éponge restitue l'eau dont elle a été imbibée, n'est plus défendable aujourd'hui.

Le phénomène de la phosphorescence semble lié à celui de la dissociation de la matière et de la libé-