



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

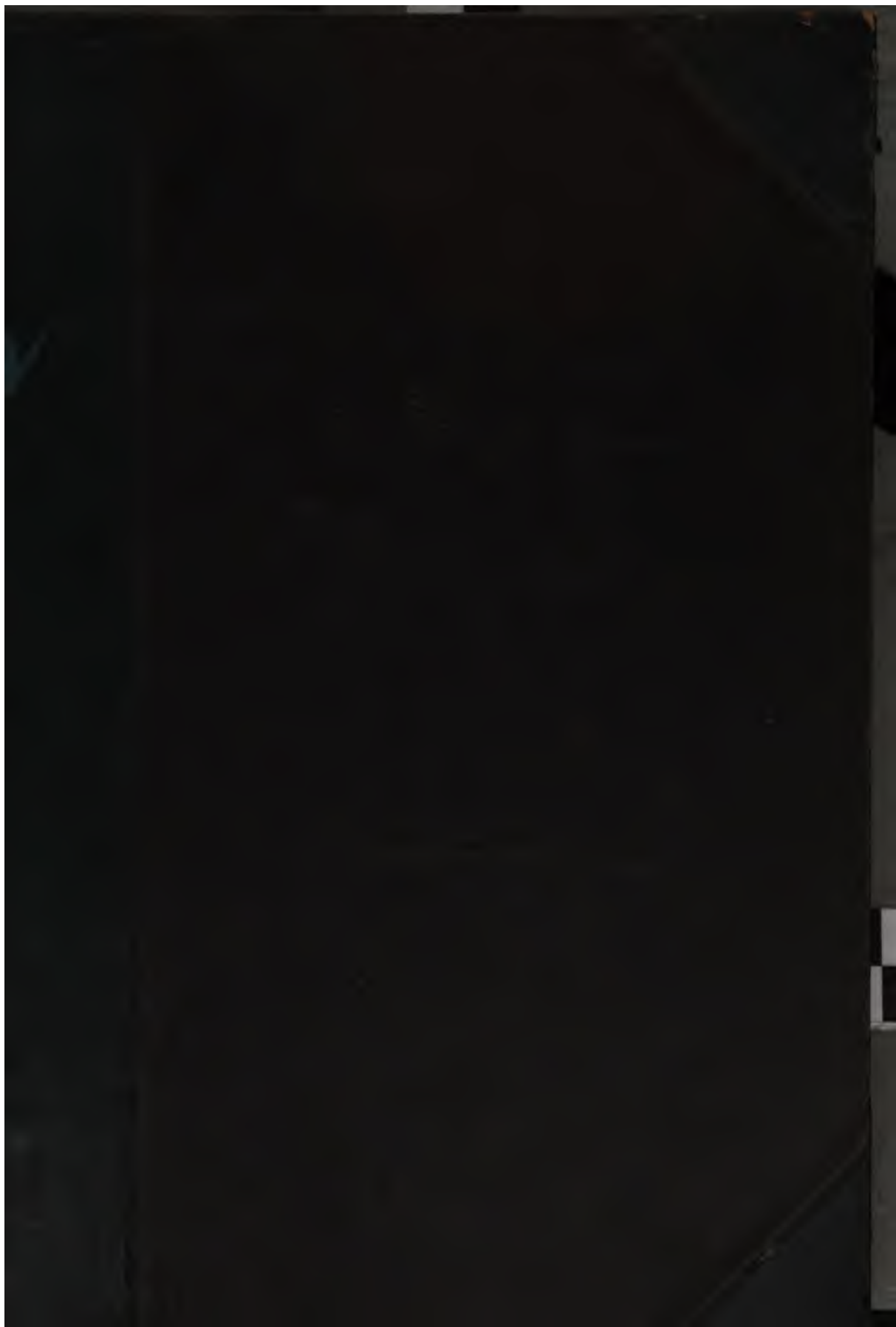
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



185 . ε . 15 .

185 . ε . 15 .







LA LUMIÈRE

SES CAUSES ET SES EFFETS

TOME I



TYPOGRAPHIE DE H. FIRMIN DIDOT. — MESNIL (EURE).

LA LUMIÈRE

SES CAUSES ET SES EFFETS

PAR

M. EDMOND BECQUEREL

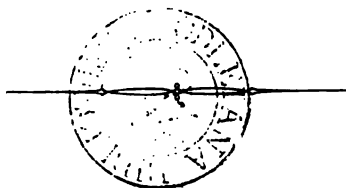
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

DE L'INSTITUT DE FRANCE

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS, ETC., ETC.

TOME PREMIER

SOURCES DE LUMIÈRE



PARIS

LIBRAIRIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES, FILS ET C^{IE}

IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, 56

1867

185 . e . 15 .



AVANT-PROPOS.

Cet ouvrage n'est pas un traité d'optique, car on n'y expose aucun des principes généraux relatifs à la propagation de la lumière ainsi qu'aux lois de la réflexion, de la réfraction, de la diffraction, de la polarisation, etc...; il ne comprend que quelques-unes des questions qui font ordinairement partie des traités de physique et il renferme spécialement, comme son titre l'indique, l'exposé des principaux faits concernant la production de la lumière ainsi que l'influence que les rayons lumineux exercent sur les corps.

Cet ouvrage, en outre, est purement expérimental, et le petit nombre de considérations théoriques qu'on y trouve ont été jugées nécessaires pour réunir et expliquer les faits. L'on a admis que le mouvement vibratoire de la matière est cause des phénomènes lumineux et que la transmission de la lumière a lieu, à distance, par l'intermédiaire d'un milieu éthéré qui pénètre tous les corps; l'on a donc admis l'hypothèse des ondulations, cette hypothèse facilitant les explications que l'on peut donner et rendant compte de tous les effets qui ont été observés jusqu'ici.

Il est divisé en deux parties formant chacune un volume.

La première partie traite des sources lumineuses et comprend plusieurs livres : après les préliminaires où se trouvent exposées quelques considérations générales sur les sources célestes ou météoriques, le I^{er} livre donne l'historique des travaux qui ont été faits sur la phosphorescence ; principalement de-

puis le commencement du quinzième siècle jusqu'au milieu de celui-ci, époque à laquelle ces phénomènes ont reçu de grands développements.

Le II^e livre est relatif aux effets lumineux qui sont produits par les actions moléculaires, c'est-à-dire les effets de phosphorescence par frottement, par clivage et par cristallisation.

Le III^e livre renferme l'étude des sources lumineuses par élévation de température, et il comprend non-seulement les effets de phosphorescence par l'action de la chaleur, mais encore les phénomènes d'incandescence, c'est-à-dire qu'il est relatif à la plupart des sources lumineuses qui sont utilisées actuellement dans l'industrie. Il contient les rapports des pouvoirs éclairants de ces différentes sources ainsi que les procédés pyrométriques capables d'indiquer leur température.

On expose dans le IV^e livre les principes généraux de l'analyse de la lumière par réfraction et les résultats des recherches sur les raies brillantes ou obscures des spectres lumineux ; on indique comment ces raies brillantes permettent de reconnaître la nature des substances volatilisées dans les flammes, et quelle est l'application de l'analyse spectrale à l'étude des sources lumineuses d'origine météorique ou céleste.

Le V^e livre est consacré aux effets lumineux produits par l'électricité, ainsi qu'aux météores lumineux que l'on rapporte à l'influence de cet agent.

Dans le VI^e livre se trouvent exposés les effets de phosphorescence par l'action de la lumière ; ce livre est le plus étendu de ce volume, et renferme le résumé des différents mémoires que j'ai publiés sur ce sujet. Il contient l'indication des méthodes de préparation des matières qui ont été nommées phosphores artificiels, ainsi que les résultats des observations faites avec le phosphoroscope, lesquelles prouvent qu'un grand nombre de corps émettent de la lumière en vertu

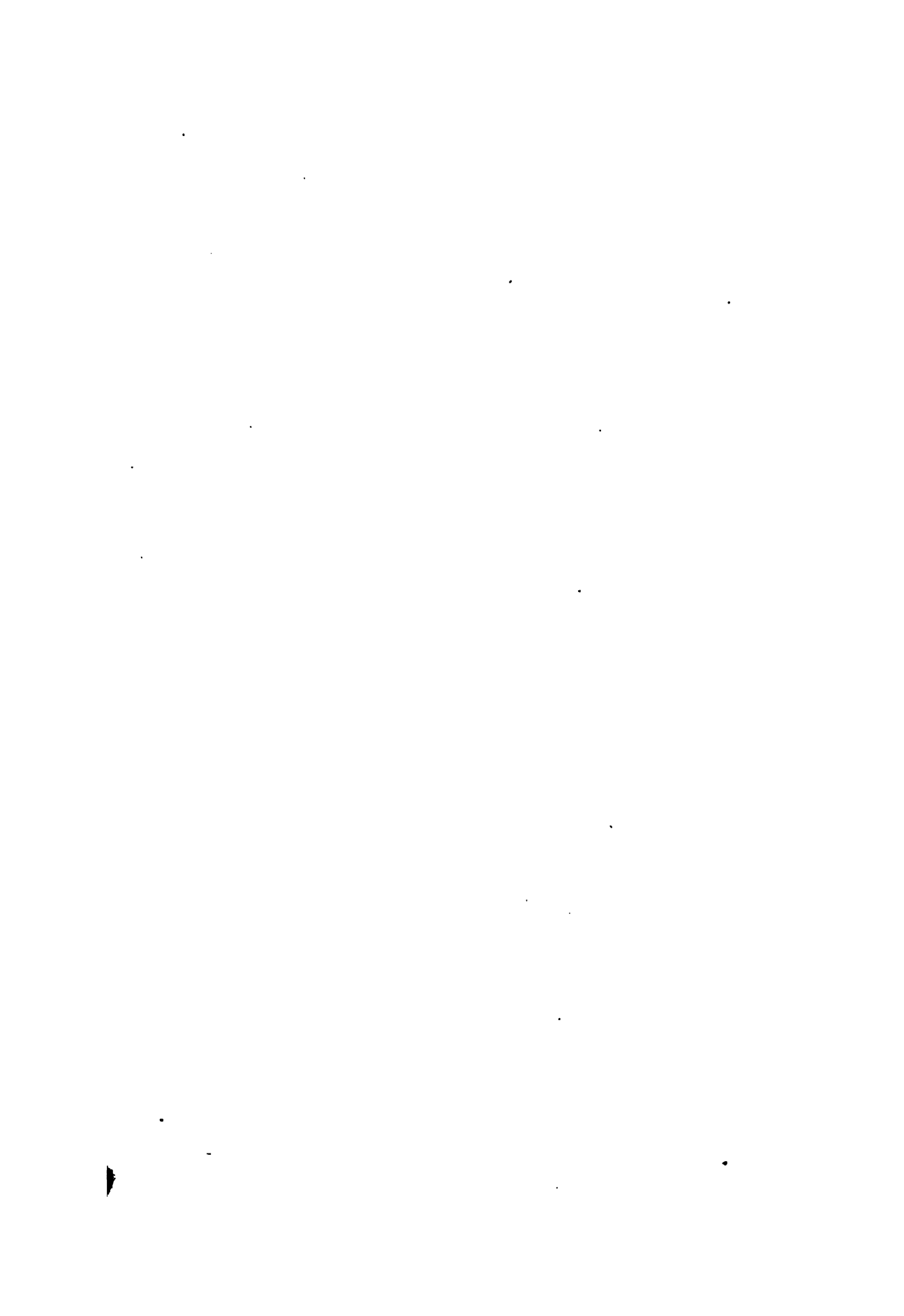
d'une action qui leur est propre, et cela par une persistance d'effet due à l'influence du rayonnement lumineux.

Les phénomènes lumineux observés dans le phosphoroscope permettent d'aborder des questions analogues à celles qui règlent le refroidissement et les quantités de chaleur émises ou absorbées par les corps; ils peuvent être invoqués dans l'étude de plusieurs questions de physique moléculaire, et servent à éclairer différents points d'analyse chimique; ils forment donc en quelque sorte une nouvelle branche de l'optique, et en raison de leur importance ils ont été exposés avec de grands détails.

Le VII^e livre est relatif aux effets de phosphorescence dans les corps organisés, c'est-à-dire à la phosphorescence des végétaux et des animaux.

La deuxième partie de l'ouvrage, ou le second volume, comprend les effets produits par la lumière, c'est-à-dire les actions calorifiques, chimiques et physiologiques auxquelles cet agent peut donner lieu. Les résultats relatifs aux effets chimiques surtout recevront de grands développements, jugés nécessaires pour l'exposé des différentes méthodes photographiques. On fera connaître également les principales recherches relatives à l'influence de la lumière sur la végétation.

On voit que cet ouvrage contient une grande partie de mes recherches sur la lumière depuis bientôt trente années; leur réunion permettra de reconnaître qu'elles ont toutes été dirigées vers un même but, celui d'étudier des questions de physique moléculaire qui ont trait à la transmission de la lumière aux particules des corps, c'est-à-dire des questions qui se rapportent à une des parties les plus importantes et les plus délicates de la physique.



I^{RE} PARTIE.

SOURCES DE LUMIÈRE.

PRÉLIMINAIRES.

SOURCES LUMINEUSES DIVERSES.

On distingue parmi les sources lumineuses celles qui ont une origine météorique de celles qui proviennent d'actions mécaniques, physiques ou chimiques; elles sont dues à la même cause, au mouvement vibratoire des particules de matière : les moyens de produire ces vibrations, qui doivent acquérir une certaine vitesse pour donner lieu au phénomène de la lumière, sont seuls différents.

Les sources lumineuses d'origine météorique qui se présentent à nous sont les astres, comme le soleil, les étoiles, les comètes, les nébuleuses, ainsi que les météores tels que la lumière zodiacale, les bolides, les aurores polaires et les effets électriques produits dans les orages. Celle qui pour nous est la plus puissante est le soleil, lequel, placé au centre de notre système planétaire, lance de toutes parts des rayons qui vivifient tous les corps placés sur la terre. Ces rayons en effet transportent avec eux dans l'espace non-seulement le pouvoir d'éclairer et de rendre visibles d'autres corps, mais encore le pouvoir d'échauffer et de produire une foule de réactions chimiques sources de la vie, propriétés sans lesquelles le globe terrestre, réduit au rayonnement des autres astres, serait privé d'êtres vivants.

Les flammes les plus vives et les corps solides à l'état d'incandescence

ne semblent être que des taches noires quand on les interpose entre l'image du disque solaire et les yeux. La lumière de l'arc voltaïque se rapproche par son intensité de la lumière solaire, quoiqu'elle soit également plus faible que celle-ci, et on ne peut comparer la lumière émanée du soleil qu'à celle des vives étincelles produites dans les décharges électriques.

Plusieurs physiciens ont évalué l'intensité lumineuse du soleil par comparaison avec celle d'une source connue, celle d'une bougie par exemple; mais l'énorme différence d'intensité de ces sources et la difficulté de comparer des lumières de diverse composition sont cause de l'incertitude des déterminations. Ainsi Bouguer (1) a trouvé que l'éclat moyen du disque solaire, au zénith, à midi dans un ciel pur, était égal à 11664 fois la lumière d'une bougie placée à 16 pouces de distance, c'est-à-dire, d'après le rapport inverse du carré des distances, égal à 62280 fois la lumière d'une bougie placée à 1 mètre. Vollaſton (2) a obtenu un nombre à peu près semblable, puisqu'il a évalué cette intensité à 5563 fois celle d'une chandelle placée à 30 cent., 48, c'est-à-dire à 59850 fois celle de la chandelle placée à 1 mètre. Arago (3) a indiqué le nombre de 15000 bougies comme représentant l'intensité lumineuse solaire (4).

(1) Bouguer, *Essai d'optique sur la gradation de la lumière*, p. 30; 1729.

(2) *Transact. phil.*, t. 89; 1799. — Becquerel, *Traité de physique*, t. 2, p. 89.

(3) Arago, *Astronomie*, t. 2, p. 171.

(4) Pour comparer les intensités lumineuses à surface lumineuse égale, il faut que l'on suppose la bougie placée à une distance telle qu'elle soustende un angle égal à celui sous lequel le soleil est vu, c'est-à-dire 30'; or l'image de la flamme est oblongue, et reçue sur un écran plan au moyen d'une lentille, elle offre une étendue qui peut être évaluée à 1,8 centimètre carré pour la partie lumineuse. En supposant cet espace circulaire, il faudrait placer ce cercle de 1,8 centimètre carré ou de 0,755 centimètre de rayon, à 1 mètre 73 pour que son diamètre sous-tendit un arc de 30 minutes. A cette distance, on aurait pour l'intensité lumineuse du soleil celle de la bougie ou de la chandelle, qui est à peu près la même, étant égale à l'unité :

D'après l'observation de Bouguer.....	186400,
D'après les déterminations de Vollaſton.....	179130,

ou environ 180000. Cela veut dire que chaque partie de la surface du soleil, vue au travers de l'atmosphère et égale à la surface de la flamme d'une bougie, a un éclat 180000 fois plus fort que celui de la bougie.

Ce nombre est plus élevé que celui que j'ai obtenu en comparant directement, au moyen d'un photomètre qui sera décrit dans cet ouvrage, l'intensité de la lumière solaire avec celle de la partie la plus lumineuse de la flamme d'une bougie; j'ai trouvé environ 50000 pour le rapport des intensités. Mais la lumière solaire était réfléchiée par un miroir, et il

On ne parle, bien entendu, que de l'éclat du soleil vu de la terre au travers de l'atmosphère. Bouguer, dans l'ouvrage cité plus haut, a trouvé que dans un ciel pur l'intensité de la lumière d'un astre placé au zénith diminuait d'un peu moins de $\frac{1}{6}$ de sa valeur, par suite de la présence de l'air (cette intensité était 0,8123, celle que l'on aurait sans la présence de l'atmosphère étant 1); près de l'horizon cette intensité lumineuse était réduite environ au $\frac{1}{6}$ de sa valeur. La présence de la vapeur d'eau et des nuages peut faire varier ces quantités dans de plus fortes proportions.

La comparaison des quantités de chaleur émises par le soleil peut être faite par des moyens plus précis que ceux qui servent à comparer les intensités des lumières différentes, et donnent une idée de la puissance de rayonnement de cet astre.

Il résulte des expériences de M. Pouillet (1) sur l'élévation de température d'un corps pendant un temps déterminé par l'action du soleil, lorsque cet astre est à différentes hauteurs au-dessus de l'horizon, que la quantité totale de chaleur que recevrait notre planète en un an de la part du soleil serait capable de fondre une couche de 29 mètr.,3 de glace répandue sur toute sa surface. Comme la présence de l'atmosphère s'oppose au moins à ce que moitié de cette chaleur n'arrive sur la couche solide du globe, la quantité de chaleur que reçoit la surface terrestre en un an de la part du soleil serait capable seulement de fondre une couche de glace de 15 mètres d'épaisseur qui serait répartie uniformément sur la terre.

Il est facile, d'après les mêmes données, d'estimer la quantité de chaleur qui serait émanée à chaque instant du soleil : elle est telle qu'elle fondrait en une minute une couche de glace environnant cet astre et ayant 11 mètr.,2 d'épaisseur, ou bien en un an une couche de glace de 16 kilomètres.

L'analyse des rayons lumineux par réfraction a révélé dans l'image

faut presque augmenter de moitié le nombre précédent pour qu'il se rapporte à la lumière directe; d'un autre côté, j'ai pris pour point de comparaison la partie la plus lumineuse de la flamme, et l'intensité moyenne de toute la surface est un peu moindre, ce qui tendrait à augmenter encore le nombre pour le rendre comparable à ceux qui ont été donnés par Bouguer et Yollaston. Du reste, l'intensité des rayons solaires est très-variable d'un jour à l'autre, en raison de la sérénité plus ou moins grande de l'atmosphère. (Voir *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 62, page 34, 1861.)

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 7, p. 25. — Becquerel et Ed. Becquerel, *Traité de physique terrestre et de météorologie*, p. 48. — *Annuaire. météorologique de la France pour 1850.*

du spectre solaire à Wollaston et à Fraunhofer des raies, ou stries noires, dont la position fixe ne dépend que des circonstances dans lesquelles la lumière elle-même se produit, ainsi que des milieux qu'elle traverse pour arriver jusqu'à nous. La coïncidence de quelques-unes de ces raies avec des raies brillantes que l'on observe dans les flammes provenant de la combustion de différents corps ont conduit à cette conjecture que les corps qui produisaient ces dernières se trouvaient peut-être dans l'atmosphère solaire. On sait combien ces recherches ont reçu de développements dans ces dernières années, et l'on verra ultérieurement tout le parti que les sciences physiques peuvent tirer de l'analyse optique par réfraction pour reconnaître l'existence de certains principes chimiques dans les milieux gazeux incandescents. L'astronomie surtout peut trouver un puissant secours dans l'étude des propriétés de la lumière à l'aide desquelles elle peut aborder des questions qui semblaient devoir échapper à nos moyens d'investigation.

Les effets de polarisation servent aussi à donner des indications précieuses sur les conditions physiques des corps considérés comme sources de lumière, car les rayons émis par ces sources ne provenant pas seulement de la surface extrême qui les limite, mais d'une certaine profondeur, doivent participer aux propriétés des rayons qui ont traversé, sous une inclinaison déterminée, une épaisseur plus ou moins grande de matière. C'est ainsi qu'Arago a reconnu (1) que la lumière qui émane sous un angle suffisamment petit de la surface d'un corps solide ou d'un liquide incandescent, lors même que cette surface n'est pas suffisamment polie, offre des traces évidentes de polarisation, en sorte qu'en pénétrant dans son polariscope elle se décompose en faisceaux colorés; mais si la lumière émane d'un gaz enflammé, comme de la flamme du gaz d'éclairage, elle reste au contraire à l'état naturel. Il a été conduit ainsi à conclure que la lumière des bords du soleil n'étant pas polarisée, cet astre se comporte comme une masse gazeuse lumineuse.

Ces recherches, jointes à celles qui résultent des changements qui s'opèrent à la surface du soleil, viennent confirmer les opinions des astronomes quant à l'incandescence de l'atmosphère de cet astre qui rayonne vers nous, et que l'on a nommée photosphère. Mais cette incandescence d'origine éprouve-t-elle une diminution dans la suite des siècles ou bien est-elle maintenue par des mouvements moléculaires tels que

(1) Arago, *Astronomie*, t. 2, p. 102.

ceux qui résulteraient de la chute d'aérolithes gravitant autour du soleil, comme l'a supposé Mayer dans ces dernières années, ou par des courants électriques circulant autour de cet astre, comme l'avait supposé Ampère, ou provient-elle de changements inconnus dus au déplacement du système solaire? C'est une question qui n'est pas résolue aujourd'hui.

Il est possible, d'un autre côté, que le soleil soit un astre qui s'éteigne graduellement et que la diminution de son incandescence n'ait pas été sensible depuis les temps historiques. On ne peut faire que des conjectures à cet égard; on sait seulement que la lumière solaire se comporte comme si elle émanait d'un corps incandescent dont la température serait portée aux plus hautes limites que nous puissions atteindre. Nous verrons en effet dans cet ouvrage que les lumières artificielles qui ont une intensité suffisante peuvent donner lieu aux mêmes effets que la lumière solaire elle-même.

La lune et les planètes ne sont pas des astres lumineux par eux-mêmes, et ne font que réfléchir par diffusion la lumière qu'ils reçoivent du soleil; les différences que présentent les rayons qu'ils nous envoient ne sont donc que des différences d'intensité. C'est ce que vient confirmer l'analyse optique, qui donne la même composition pour la lumière de ces astres que pour la lumière solaire.

Bouguer (1) a évalué l'intensité de la lumière donnée par la lune par rapport à celle envoyée par le soleil, et a trouvé que dans les conditions les plus favorables elle ne dépassait pas $\frac{1}{300000}$ de celle du soleil. Robert Smith, par le calcul, en admettant que la surface de la lune ne réfléchisse que le quart de la lumière incidente, est arrivé à peu près à la même valeur; mais Wollaston a donné un nombre plus de deux fois moindre, $\frac{1}{800000}$.

La faible intensité du rayonnement lunaire fait comprendre pour quel motif les effets thermométriques donnés par les rayons de notre satellite sont à peine appréciables même lorsque ces rayons sont concentrés au foyer d'une lentille, bien que dans des conditions semblables les métaux les plus réfractaires puissent être fondus par l'action des rayons solaires. Si l'on suppose en effet que la température obtenue avec les rayons solaires concentrés soit de 1500° et même de 2000°, et que l'effet produit par les rayons lunaires ne conduise qu'à la trois-cent-millième partie de ce nombre, on n'arriverait qu'à une température de $\frac{1}{160}$ de de-

(1) Bouguer, ouvrage cité plus haut, p. 28. — Arago, *Astronomie*, t. 3, p. 462. — Biquérrel, *Traité de physique*, t. 2, p. 92.

gré, qui serait à peine appréciable dans les conditions ordinaires. On verra dans le courant de cet ouvrage que les phénomènes de phosphorescence et les effets chimiques, plus sensibles que les effets calorifiques, peuvent être observés aussi bien avec la lumière de la lune qu'avec la lumière solaire, et sont en rapport avec l'intensité des rayons émanés de ces astres.

Les étoiles sont lumineuses par elles-mêmes, et sont des sources de lumière indépendantes du soleil. On sait qu'il y en a de différentes teintes : quelques-unes sont rougeâtres, d'autres ont une teinte bleuâtre. L'analyse prismatique donne du reste une composition particulière pour la lumière émise par chacune d'elles. Il est probable qu'elles doivent leur lumière à la même cause que celle qui produit la lumière solaire, et que les différences observées tiennent aux matières qui constituent ces soleils, ou du moins leurs atmosphères, ainsi qu'à leur degré d'incandescence ; on a même supposé que celles dont les couleurs étaient orangées et rouges avaient une incandescence moins vive que les autres et étaient par conséquent en voie de refroidissement.

Les étoiles à surface égale ont une intensité lumineuse qui ne le cède en rien à celle de la lumière solaire, et il est possible qu'il y en ait dont l'éclat soit supérieur à celui du soleil. Mais les distances immenses qui nous séparent de ces astres ne permettent de recevoir d'eux qu'une faible quantité de lumière. Wollaston, en comparant la quantité de lumière qui nous arrive de Sirius, une des étoiles les plus brillantes, avec celle qui émane du soleil, a estimé que celle-ci était environ 200000 millions de fois plus forte que celle que nous recevons de cette étoile.

Sirius, comme les étoiles les plus proches de nous, est encore à une telle distance qu'il faut prendre des unités intermédiaires pour s'en faire une idée : on sait que la vitesse de la lumière est environ 73000 lieues de 4 kilomètres par seconde ou environ 300000 kilomètres; d'après cette évaluation, la distance de ces astres est telle que leur lumière mettrait au moins trois ans à nous parvenir. Quant aux étoiles télescopiques, les astronomes pensent qu'il y en a dont la lumière, en raison de leur distance, mettrait au moins des milliers d'années pour arriver jusqu'à nous (1); on peut juger, d'après leur éloignement, de la faible quantité de lumière que nous recevons d'elles.

La lumière des nébuleuses, comme celles des autres sources stellaires, peut être soumise à l'analyse par réfraction, et les observations pourront

(1) Arago, *Astronomie*, t. 2, p. 18.

peut-être montrer si ces nébuleuses sont formées de matières gazeuses ou de parties solides ou liquides incandescentes. On voit par là que si le télescope indique les positions et les distances relatives des astres, le prisme permet de décomposer leur lumière et nous donne des indications précieuses sur leur constitution.

La lumière zodiacale est un phénomène remarquable, qui dans nos climats ne s'aperçoit après le coucher du soleil qu'en janvier, février, mars et avril, ou avant son lever en novembre; elle apparaît alors comme une sorte d'ellipse ou de fuseau lumineux s'étendant dans la direction de l'équateur solaire. Sa lumière est blanchâtre, et se présente comme une sorte de nébulosité environnant le soleil et qui dépasse même l'orbite terrestre. Dans les régions tropicales elle est beaucoup plus apparente, en raison de la sérénité de l'atmosphère. On peut avoir une idée de l'intensité de cette lumière en remarquant que placée au-devant d'étoiles plus faibles que la 5^e grandeur elles les rend invisibles. La lumière zodiacale, observée pour la première fois par Childrey, vers 1639, a d'abord été étudiée par J.-D. Cassini, en 1683.

On a donné plusieurs explications de ce phénomène : la plus probable consiste à admettre qu'il est dû à un ensemble de corps qui forment autour du soleil comme une zone d'astéroïdes solides très-écartés, mais occupant une immense étendue, et au milieu de laquelle la terre se trouve plongée; les bolides et les étoiles filantes ne seraient alors que des parties isolées de cet ensemble de corps qui, attirées dans la sphère d'activité de la terre, tomberaient à sa surface. D'après cette hypothèse, la lueur de la lumière zodiacale serait due à la lumière solaire réfléchie, et l'absence de polarisation que l'on remarque proviendrait de ce que la lumière est réfléchie dans tous les plans possibles sur les surfaces orientées diversement de cette multitude de corps.

On sait que Mayer a supposé que l'incandescence du soleil pouvait être maintenue pendant des milliers d'années, en admettant une chute continue de ces astéroïdes sur le soleil, laquelle produirait, par cet effet mécanique un développement d'une quantité de chaleur qui pourrait compenser la perte continue due au rayonnement dans les espaces célestes. D'après les calculs de Mayer, il suffirait qu'il tombât annuellement une masse de même densité que celle du soleil et augmentant son rayon de 6 mètres $\frac{1}{2}$ pour compenser la perte de chaleur qu'il éprouve.

La lumière des bolides, ainsi que celle des autres sources lumineuses météoriques d'une intensité suffisante peut être soumise aux mêmes modes d'investigation que la lumière des astres. Quant à celle des aurores polaires, elle a de tels rapports avec la lumière électrique que l'origine de ce météore ne paraît guère douteuse aujourd'hui. Mais, ainsi qu'on le verra plus tard, l'électricité ne pouvant donner de la lumière, qu'en portant momentanément à l'incandescence les particules matérielles qui la transmettent, il en résulte que les sources lumineuses d'origine météorique doivent être considérées comme devant leurs propriétés à l'incandescence de la matière.

Il y a d'autres sources lumineuses que celles d'origine météorique, et qui sont dues à des actions physiques ou chimiques, telles que le frottement, la percussion et l'influence de la chaleur et de l'électricité; elles émettent des rayons qui sont soumis aux mêmes lois que les rayons provenant de la lumière solaire ou stellaire. Elles vont être étudiées en détail dans les différents livres de la première partie de cet ouvrage et comparées aux sources diverses dont il vient d'être question.

LIVRE PREMIER.

NOTICE HISTORIQUE DES RECHERCHES FAITES SUR LA PHOSPHORESCENCE JUSQU'EN 1840.

CHAPITRE PREMIER.

État des connaissances sur la phosphorescence jusqu'au commencement du dix-septième siècle.

§ 1. Phosphorescence des corps organisés.

On comprend habituellement sous le nom de phénomènes de phosphorescence des phénomènes différents quant à l'origine, mais en vertu desquels un grand nombre de corps ont la faculté de devenir des sources lumineuses. La lumière qui se produit alors, et qui est plus ou moins vive et diversement colorée, est analogue à celle que répand le phosphore dans l'air; elle apparaît spontanément dans plusieurs végétaux et dans des liquides d'origine animale comme chez les lampyres et les fulgores; elle se manifeste dans le frottement de corps, comme le quartz, le diamant, etc., ou en chauffant des minéraux comme le diamant, le spath fluor, la chaux phosphatée; enfin, on peut l'observer dans un grand nombre de circonstances, que l'on fera connaître dans la suite de cet ouvrage.

On a dû connaître dès la plus haute antiquité certains effets de phosphorescence des corps organisés, car ils apparaissent naturellement sans le secours d'aucune action extérieure; tels sont les effets lumineux produits par les lampyres et le dégagement de lumière observé avec certains bois ainsi que sur des animaux marins, et principalement sur les infusoires qui donnent lieu au phénomène de phosphorescence de la mer. Ce-

pendant Aristote dans l'histoire des animaux ne cite les lampyres (πυρολαμπιδες) que comme étant compris dans le genre des insectes qui sont, les uns ailés, les autres sans ailes (1), ou bien provenant de certaines chenilles noires et velues qui ne sont pas fort grandes (2). Leur nom indique bien leur faculté lumineuse, dont il ne s'est pas cependant occupé spécialement.

Dans ses trois livres sur l'âme (3), il dit : « Il y a certaines choses qui « ne sauraient être vues à la lumière; elles frappent néanmoins les sens, « et se font voir dans l'obscurité; telles sont celles qui brillent comme « du feu, et qui n'ont pas de nom commun dont on puisse les nommer; « ainsi sont le bois de chêne, certaines cornes, les têtes, les écailles et « les yeux de certains poissons..... La raison pour laquelle on voit ces « objets la nuit appartient à un autre sujet. »

Voici ce que Pline rapporte à propos des animaux phosphorescents « Pendant la nuit les lampyrides brillent comme des feux, par la cou- « leur éclatante de leurs flancs et de leur croupe; éincelants lorsqu'il: « déploient leurs ailes, cachés dans l'ombre quand ils les ferment (4). »

Et avant ce passage, à propos des dactyles ou dails, il dit : « Leur pro- « priété est de reluire dans les ténèbres: plus ils contiennent de liquide « plus ils brillent, et dans la bouche de ceux qui les mangent et sur le « mains; les gouttes même qui tombent à terre ou sur les habits jet « tent le même éclat: en sorte qu'on trouve dans une liqueur une pro- « priété qu'on admirerait même dans un corps solide (5). »

Depuis cette époque les différents auteurs qui ont écrit sur l'histoire naturelle ont rapporté avec plus ou moins de détails des faits analogues Boyle (6), à la fin du dix-septième siècle, Spallanzani, puis, au commencement de ce siècle, Hulme (7) et Dessaigne (8) peuvent être cités parmi

(1) Aristote, *Histoire des animaux*, liv. 5, chap. 1^{er}.

(2) Id., *ibid.*, liv. 5, chap. 19.

(3) Liv. 11, chap. 7. « De la vue et de ce qui est visible. »

(4) « Lucent ignium modo noctu, laterum et clunium colore, lampyrides, nunc penna rum hyatu refulgentes, nunc vero compressu obumbratæ, non ante matura pabula, aut post desecta conspicuæ. » (Pline, liv. 11, chap. 28; traduction d'Ajasson de Gransagny t. 8, p. 773.)

(5) « His natura in tenebris remoto lumine, alio fulgere claro, et quanto magis humerum habeant, lucere in ore mandentium, lucere in manibus, atque etiam in solo: veste, decidentibus guttis: ut procul dubio pateat, succi illam maturam esse, quam miraremur etiam in corpore. » (Pline, liv. 9, ch. 61; trad. d'Ajasson, t. 7, p. 150.)

(6) Boyle, *Opera omnia*, t. 3.

(7) *Philosophical transactions*, 1800 et 1801, t. 90 et 91.

(8) *Journal de physique*, t. 68, et t. 69, p. 26.

ceux qui ont fait des recherches intéressantes sur différentes conditions physiologiques des phénomènes de phosphorescence des animaux. Il en sera question dans le livre VII, en même temps que l'on parlera des différents travaux faits dans ces dernières années.

Vers le milieu du seizième siècle Conrad Gesner, médecin (1), réunit les opinions des anciens sur la production de la lumière dans certains végétaux, et rapporta tous les faits connus, fabuleux ou réels, qui touchent à ce sujet. Des recherches intéressantes ont été publiées depuis par d'éminents botanistes; il en sera également question dans le livre VII, qui est consacré à l'étude de l'émission lumineuse dans les corps organisés. D'après les résultats obtenus, il est à présumer que les effets lumineux tiennent à des actions chimiques lentes qui accompagnent ou suivent la vie végétale.

§ 2. *Minéraux supposés lumineux. Escarboucle, anthrax, pyrope, etc.*

Si les anciens ont pu observer une émission spontanée de lumière dans les corps organisés, il ne paraît pas qu'ils aient connu quelques-uns des effets de phosphorescence des minéraux. Théophraste, disciple d'Aristote, quatre siècles avant Plin, dans son *Traité des pierres*, où il fait mention des propriétés attractives de l'ambre et de la pierre de lynx (probablement la tourmaline) ainsi que de l'action de la pierre d'aimant sur le fer, n'aurait pas manqué de signaler les faits de ce genre qui auraient été connus à cette époque. Il parle bien de l'escarboucle, et il dit (2) : « La couleur en est rouge, et telle que quand on tient la pierre exposée au soleil, elle ressemble à un charbon ardent. » Mais cette indication se rapporte à la couleur de la pierre vue par diffusion ou par transmission et non pas à un phénomène d'émission lumineuse par action propre. Les anciens nommaient en effet escarboucles les grenats et les rubis, dont la couleur est rouge, mais qui n'offrent aucune phosphorescence de quelque durée quand on les échauffe ou qu'on les expose à la lumière. Plin, en parlant des pierres précieuses, dit :

« Au dedans de la phlogitis semble brûler une flammé concentrée. Dans l'anthracite on voit voler çà et là des étincelles (3). »

(1) De rarioribus et admirandis herbis quæ sive quod noctu luceant, sive alias ob causas, lunariæ nominantur commentatoribus; et obiter de aliis etiam rebus quæ in tenebris lucent; 1556.

(2) Theophraste, *Traité des pierres*, § 31.

(3) « In phlogitide intus ardere quædam videtur flamma, quæ non exeat. In anthraci-

L'anthracite ou plutôt l'anhrax des anciens n'est autre que l'escarboucle, c'est-à-dire le rubis, le spinelle ou le grenat.

Plus loin, en parlant encore de ces pierres, il dit « qu'arrosées d'eau elles brillent comme la flamme (1) ».

L'astérie « contient des rayons lumineux comme la pruneUe. », et la pierre appelée *ceraunia*... « s'imprègne de l'éclat des astres (2) ».

Il paraît certain que Pline en parlant de ces minéraux a eu en vue, comme Théophraste, les effets produits par la lumière extérieure, et qui doivent se rapporter à des effets de couleur et d'éclat. Du reste la description qu'il donne de l'escarboucle conduit à la même conclusion. S'il avait eu connaissance d'effets particuliers d'émission de lumière, il les aurait certainement cités, de même qu'il a parlé de la lumière émise par les corps organisés.

Solin, deux siècles après, s'exprime à peu près dans les mêmes termes; il dit, par exemple :

« Où se trouve l'hyacinthe se rencontre la chrysoptase : la lumière « cache cette pierre, l'obscurité la fait apparaître. Il y a en elle une telle « diversité que la nuit elle est de feu, le jour elle est pâle (3). »

Et plus loin : « La phlogitis montre intérieurement comme des « flammes brûlantes. L'anthracite brille comme par des rayons scintil-
« lants (4). »

Il n'y a pas à s'arrêter à la fable d'Élien (5) au sujet d'une pierre qui était lumineuse pendant la nuit et qu'une cigogne laissa tomber dans le sein d'une femme de Tarente.

Isidore de Séville, dont les œuvres renferment un résumé des connaissances humaines au commencement du septième siècle, en parlant de la pierre appelée *Ceraunia* par Pline, ou pierre de foudre, parle d'une pierre bleue qui exposée au jour s'imprègne de rayons de lumière (6). Mais est-ce bien de la lumière émise par l'action propre du corps dont

« tude scintillæ discurrere aliquando videntur ». (Pline, liv. 37, chap. 11; traduct. d'Ajasson, t. 20, p. 124.)

(1) « Contra aquis perfusæ exardescunt », liv. 37, chap. 27.

(2)... « quæ fulgorem siderum rapiens », livre 37, chap. 51.

(3) « Ubi hyacinthus, ibi et chrysoptasus apparet : quem lapidem lux celat, producit tenebræ. Hæc enim est in illo diversitas, ut nocte igneus sit, die pallidus. » Chap. 30.

(4) « Phlogitis ostendat intra se quasi flammæ æstuantæ. Anthracites coruscat velut scintillantibus stellis. » Chapitre 37.

(5) Élien, *Des animaux*, livre 8, chapitre 22. περί του πελαργου, etc...

(6) « Splendet tamen cœruleo, et si sub divo positus fuerit, fulgorem rapit siderum. » Isidore de Séville, livre 16, chap. 13, *De cristallis*.

il est question ici ? ou n'est-ce pas plutôt de la lumière diffusée ? Cette dernière opinion est d'autant plus probable qu'il se sert à peu près des mêmes expressions que Pline.

Dans le chapitre suivant « De ignitis », il dit : « L'escarbouche est « de feu comme le charbon, et son éclat n'est pas obscurci par la nuit. « Il luit dans les ténèbres à tel point qu'il lance des flammes vers les « yeux (1). »

En parlant ensuite, dans le même chapitre, de la chrysoprase et de la phlogitis, il se sert à peu près des expressions de Solin rapportées ci-dessus.

Albert surnommé le Grand, dans son traité *De mineralibus*, parle à plusieurs reprises de l'escarbouche et du diamant ; mais on ne voit pas que les effets dont il s'occupe soient bien nettement définis. A propos de l'escarbouche, il dit (2) :

« Sa qualité particulière est de chasser de l'air les poisons vaporeux, « et quand il est vraiment bon, il luit dans les ténèbres comme du char- « bon, et je l'ai vu ainsi. Mais quand il est moins bon et cependant véri- « table, il brille dans les ténèbres en répandant sur lui de l'eau claire « et limpide dans un vase noir net et poli. »

Dufay, dans un travail fait en 1735, dont il sera question plus loin, à propos de la lumière que le diamant émet quand on le place dans l'eau chaude, ajoute que cette expérience paraissait avoir été connue d'Albert le Grand. Mais Albert, comme on le voit, parle d'eau claire et limpide, mais non pas d'eau chaude ; il revient plusieurs fois sur le même sujet. Albert n'avait donc pas observé le phénomène d'émission lumineuse par élévation de température, et ce qu'il dit doit se rapporter à des effets de diffusion.

Benvenuto Cellini a fait mention de pierres lumineuses dans son traité sur la bijouterie publié dans le seizième siècle. Il ne cite cependant qu'une seule observation personnelle : il assure que du temps de Clément VII il vit un escarbouche entre les mains d'un marchand de Raguse ; que cette pierre était blanche comme les rubis blancs, et qu'elle retenait en elle une lumière si agréable et admirable qu'on la voyait briller

(1) « Carbunculus autem dictus quod sit ignitus, ut carbo, cujus fulgor nec nocte vincitur. Lucet enim in tenebris adeo ut flammam ad oculos vibret. »

(2) « Specialis tamen effectus ejus est venenum acreum et vaporosum fugare, et quando « vere bonus est, lucet in tenebris sicut carbo, et tale vidi ego. Quando autem minus bonus est et tamen verus, emicat in tenebris superfusa aqua clara et limpidissima in vase « nigro mundo et polito ». *De mineralibus*, etc., liv. 2, 2^e partie, chap. 3.

dans les ténèbres. Il ajoute que cette lumière n'était pas aussi vive que celle des escarboucles de couleur, mais qu'il l'avait vue dans l'obscurité briller comme un feu qui commence à s'éteindre (1). Il cite ensuite un fait qu'on lui aurait raconté et d'après lequel une personne aurait trouvé dans une vigne un escarboucle de couleur, lumineux pendant la nuit; mais il n'en a pas été témoin.

Si réellement il a observé l'effet cité plus haut et s'il n'a pas été trompé par une illusion d'optique, en confondant la lumière réfléchie dans un endroit peu éclairé avec la lumière que le corps pouvait émettre par action propre, ce serait un des faits les plus anciennement connus et bien constatés se rapportant à des pierres lumineuses par elles-mêmes. Le résultat n'a pas paru convaincre les savants de cette époque; car ceux qui se sont occupés des pierres précieuses et des minéraux, et dont les ouvrages sont les plus estimés, ont révoqué en doute l'observation des faits de ce genre.

On peut citer à ce sujet l'ouvrage de Boëce de Boot, médecin de l'empereur Rodolphe II, publié au commencement du dix-septième siècle, ainsi que celui de Jean de Laët.

L'ouvrage de Boëce a eu un grand nombre d'éditions, et l'une d'elles a été traduite et annotée par André Toll, médecin à Leyde (2). Je rapporterai en entier l'article relatif à l'escarboucle en conservant intacte la traduction (3):

« L'on fait grand estat de l'escarboucle; l'on dict qu'il luit dans
 « les ténèbres, comme un charbon, peut-estre que pour cela il a esté
 « appelé des anciens pyrope ou anthrax. Mais pour dire le vray, jus-
 « ques à présent personne n'a osé asseurer d'avoir veu une pierre pré-
 « cieuse luire de nuict. Garcias ab Horto, médecin du vice-roy des Indes,
 « escrit qu'il a parlé à des personnes qui affirmaient en avoir veu,
 « mais il ne leur a pas baillé sa croyance.

« Louis Vertoman rapporte que le Roy de Pegu en porte de telle
 « grandeur, et splendeur, que quiconque regarde le roy dans les té-
 « nèbres, il le voit resplendir, comme s'il estait illuminé par le soleil.

(1)... « Ma riteneva in se un fulgente tanto piacevole e mirabile, che egli risplendeva
 « nelle tenebre, ma non quanto i carbonchi colorati, ben è vero, che in luogo oscurissimo
 « io lo vidi rilucere in guisa d'un fuoco alquanto smorto ». *Dell'oreficeria*, chapitre 1^{er}.

(2) *Le parfait joaillier, ou histoire des pierreries*, par A. Boëce de Boot, traduit et annoté par A. Toll; Lyon, 1644.

(3) Id. liv. 2, ch. 8.

« Mais ny luy aussi ne l'a pas veu. Si donc la nature produit une pierre
 « précieuse luisante de nuict, ce sera véritablement un escarboucle ; et
 « par ainsi il sera distingué des autres pierres précieuses, et surpassera
 « toutes les autres en dignité.

« Plusieurs croyent que les pierres précieuses qui luisent de nuict
 « ne peuvent pas estre formées par la nature, mais ils se trompent. Car,
 « comme la nature peut bailler aux bois pourris, aux vers qui luisent
 « de nuict, aux escailles des sardines et aux yeux des animaux un es-
 « clat et lumière, je ne vois pas pourquoi elle ne puisse pas bailler
 « cette lumière aux pierres précieuses dans l'abondance de tant de cho-
 « ses créées, la matière propre et disposée estant substituée. Or pour
 « sçavoir s'il s'en trouve ou non, il est incertain jusqu'à présent. Pour-
 « tant, selon l'opinion des personnages très-doctes, il ne se trouve point
 « de pierres précieuses de ceste nature. D'où vient que toutes les pierres
 « précieuses rouges et transparentes sont appellées par iceux escarbou-
 « cles, anthrax, pyropes et charbons? Parce qu'elles imitent la lueur
 « d'un charbon et qu'elles jettent leurs rayons de tous costés tout ainsi
 « que le feu. »

Jean de Laët, à peu près à la même époque, à la suite d'une traduction de Théophraste, a publié un ouvrage en deux livres sur les pierres précieuses, dans lequel il est arrivé à la même conclusion (1) :

« Les anciens ayant nommé ces pierres escarboucles, pyropes, an-
 « trax, on a cru généralement qu'elles brillaient dans les ténèbres comme
 « du charbon enflammé, quoique de nos jours cette propriété n'ait été
 « reconnue dans aucune pierre, malgré qu'on se soit hasardé à le dire.
 « Les plus habiles joailliers mettent hors de doute que Pline a compris
 « sous le titre d'escarboucles toutes les pierres transparentes de couleur
 « rouge et comme ardente; nous les appelons maintenant rubis, grenats,
 « almandins et hyacinthes rouges . »

Ces diverses citations montrent donc que dans l'antiquité et même parmi les modernes des auteurs ont cru à l'existence des pierres lumineuses sans que cette existence ait été bien constatée. Aujourd'hui

(1) « Quia autem carbunculi, pyropi, et anthraces a veteribus nominantur, vulgo creditum fuit, carbonis instar in tenebris lucere, quod tamen in nulla gemma hactenus deprehensum, licet a quibusdam temere jactetur. Peritissimis autem gemmariis haud dubium est Plinium et alios veteres sub carbuncolorum titulo descripsisse gemmas omnes translucidas rubri coloris et quasi ardentis, quales nostro ævo appellantur rubini, granati, almandini et hyacinthi rubentes ». *De gemmis et lapidibus*...., liv. 2, chap. 2. p. 10; Lyon, 1648.

que l'on sait que les grenats, rubis, spinelles et la plupart des pierres colorées en rouge nommées escarboucles, pyropes, anthrax, par les anciens, ne sont pas lumineuses après l'insolation, du moins d'une manière persistante, à moins d'employer des procédés particuliers, et que les diamants ainsi que certaines pierres à base terreuse comme des spath fluors et des calcaires, etc., possèdent seules cette faculté à un degré tel qu'on ait pu l'observer dans les conditions dont il est fait mention; en remarquant en outre que les anciens n'ont pas mentionné les diamants parmi les pierres lumineuses, on doit conclure qu'ils ont confondu les effets d'éclat et de coloration produits par la réflexion et la transmission de la lumière dans les minéraux avec les effets qui seraient produits par une émission de lumière en vertu d'une action propre de ces corps. Cela semble d'autant plus naturel qu'on sait qu'ils expliquaient généralement les phénomènes de la vision par une sorte d'émanation des corps; d'après cette supposition, la couleur rouge des pierres a dû contribuer à leur faire penser que les effets lumineux produits se rapprochent de ceux que présentent des charbons enflammés.

CHAPITRE II.

Découvertes faites dans le dix-septième siècle. — Pierre de Bologne. — Phosphorescence du diamant. — Phosphore.

§ 1. Pierre de Bologne. — Diamant lumineux.

En 1602 ou 1603 (1) une découverte due au hasard vint montrer la possibilité de réaliser avec une substance facile à préparer l'effet que

(1) P. Pothier d'Angers, médecin, *Pharmacopea spagirica*, livre 2, dernier chapitre, 3^{me} édit., p. 264; 1635.

F. Licetus, *Litheosphorus, sive de lapide bononiensi*, etc., 1640, ch. 3, p. 13.

Mémoires de l'Acad. des sciences de Paris, collection académique, partie étrangère, t. 4, p. 108.

C. Mentzelius, *Traité sur la pierre de Bologne*; 1675.

Lemery, *Cours de chimie*.

l'on supposait devoir être produit par l'escarboucle et les autres minéraux prétendus lumineux. Cette découverte a été faite, dit-on, par un artisan de Bologne (on a même dit un cordonnier), nommé Vincenzo Casciorolo, qui s'occupait d'alchimie et qui ayant trouvé une pierre luisante et très-pesante croyait qu'elle renfermait de l'argent et l'avait calciné; au lieu de cela, il découvrit le curieux phénomène qu'elle présente de rester lumineuse dans l'obscurité pendant quelque temps, après son exposition à la lumière, en donnant une lueur qui s'éteint graduellement. Cette pierre en effet était du sulfate de baryte, qui étant calciné entre des charbons s'était changé superficiellement en sulfure de barium phosphorescent.

Boëce de Boot et Jean de Laët, cités plus haut, ont publié leurs ouvrages près de cinquante ans après la découverte des propriétés lumineuses de la pierre de Bologne; s'ils ont eu connaissance de ce fait, il est digne de remarque qu'ils n'ont pas songé à établir quelque rapport entre les effets que présentait cette matière et ceux que la tradition attribuait aux pierres prétendues lumineuses, en remarquant surtout, comme ils l'ont fait, que des corps organisés pouvaient jouir spontanément de la faculté de devenir des sources de lumière. Mais il est possible, d'un autre côté, qu'ils n'aient pas eu connaissance des propriétés lumineuses dont il s'agit; car Lemery, dans son cours de chimie, en parlant de la pierre de Bologne, dit qu'Homberg a contribué à rappeler l'attention sur cette pierre, qui avait été presque oubliée. Dans un voyage qu'il fit en Italie, dit-il, pour la rechercher, on la connaissait si peu à Bologne qu'Homberg n'y trouva personne qui pût lui en donner des nouvelles et très-peu qui en eussent entendu parler..... En outre, la plupart des personnes croyaient que la pierre de Bologne était une composition dont le secret était perdu.

La pierre de Bologne a donné lieu à un grand nombre de publications et même à des traités spéciaux au sujet de sa préparation. On peut citer, par ordre de dates, comme les plus importants le mémoire d'Ovide Montalbani, médecin à Bologne (1); un des chapitres de la pharmacopée de Pothier d'Angers, médecin, dans lequel il décrit la préparation de la matière (2); le traité de Licetus, cité plus haut, qui date de 1640 et qui donne une histoire complète de la découverte, de la préparation et

(1) Ov. Montalbani, *De illuminabili lapide bononiensi epistola familiaris*; 1634.

(2) *Pharmacopea spagirica*, ouvrage cité plus haut.

des principales propriétés de cette substance ; le traité de Mentzelius, publié en 1675 et indiqué aussi précédemment ; un mémoire du comte de Marsiglii (1), le fondateur de l'Académie de Bologne, en 1712 ; enfin, les ouvrages de Lemery (2) et de Margraff (3).

C'est à peu près au milieu du dix-septième siècle que le nom de phosphore fut appliqué à cette substance, comme aux autres matières émettant dans l'obscurité une lueur plus ou moins vive. Pothier appelle la pierre de Bologne la pierre lucifer ; Licetus lui a donné, vers 1640, le nom de lithosphore ; Baudoin, en 1675, donna au nitrate de chaux calciné, dont on parlera plus loin, le nom de phosphore hermétique. Boyle s'est servi de la même expression, et nous verrons ci-après qu'on a donné tout aussi bien le nom de phosphore au phosphore ordinaire qu'aux substances ou aux préparations chimiques qui luisent par elles-mêmes sous l'influence de la chaleur, de la lumière ou du frottement.

Les méthodes de préparation indiquées pour la pierre de Bologne peuvent se réduire à deux : dans la première on pulvérise la substance, l'on forme avec la poudre humectée d'eau, ou d'albumine, des gâteaux, qui une fois secs sont disposés par couches avec de la braise calcinée ; ce mélange est ensuite placé dans un fourneau où l'on opère la calcination jusqu'à ce que le fourneau s'éteigne, et l'on ne retire la matière qu'après le refroidissement complet. Si par cette opération elle n'offre pas une lumière assez vive après l'insolation, on la calcine de la même manière une seconde et même une troisième fois. C'est la méthode donnée par Pothier et suivie par Mentzelius ; Margraff l'a perfectionnée en faisant subir une première calcination à la matière, la pulvérisant ensuite et formant les gâteaux avec de l'eau qui tient en dissolution $\frac{1}{4}$ de son poids de gomme adragante.

La seconde méthode consiste à faire adhérer autour de morceaux de pierre de Bologne elle-même de la poudre de même substance, et à opérer la calcination au milieu du charbon. Elle a été suivie par Marsiglii et Lemery. C'est encore la poussière de sulfate de baryte qui devient lumineuse après son exposition à la lumière, et comme les pierres qui sont au centre de chaque masse ne servent que de support, la première méthode est préférable.

(1) *Dissertatione epistolare del fosforo minerale, o sia della pietra illuminabile bolognese* ; 1698 ; réimprimée, en 1702.

(2) *Cours de chimie*.

(3) Margraff, *Opuscules chimiques*, 12^{me} dissertation, Paris, édition de 1762, t. 1, p. 312.

Quand on expose à l'insolation des masses ainsi calcinées et qu'on les transporte dans l'obscurité, elles y luisent en général avec une teinte orangée rouge, analogue à celle du charbon qui s'éteint; quelquefois cependant cette teinte est plus jaunâtre ou entremêlée de parties blanchâtres et bleuâtres. Margraff en opérant à deux ou trois reprises la calcination des gâteaux, comme l'indique Pothier, après avoir pulvérisé chaque fois la matière, et en se servant d'une moufle, a obtenu des teintes mélangées. On verra plus tard quelles sont les conditions à remplir pour avoir une grande uniformité de couleur dans la lumière émise.

En 1663, une observation faite par Robert Boyle (1) avec un diamant qui était lumineux dans l'obscurité après avoir été frotté, chauffé, ou approché d'une bougie, attira l'attention sur les effets de phosphorescence que pouvaient donner les minéraux. Boyle reconnut bientôt que d'autres diamants jouissaient des mêmes propriétés, mais qu'il y en avait qui en étaient privés. On verra dans le chapitre suivant que beaucoup d'autres corps présentent des effets analogues, et se trouvent naturellement dans les mêmes conditions que la pierre de Bologne calcinée.

§ 2. *Phosphore.*

En 1677, la découverte du phosphore vint montrer qu'une matière pouvait produire de la lumière par elle-même, au milieu de l'air, et sans le concours de la lumière, de la chaleur ou du frottement, et dès lors les recherches des chimistes sur cette matière firent oublier en partie celles relatives aux substances qui ne possédaient que temporairement la propriété de luire dans l'obscurité.

Il n'est pas sans intérêt de dire quelques mots de cette découverte chimique importante (2). Un négociant de Hambourg nommé Brandt, voulant réparer sa fortune, s'occupait d'alchimie et travaillait sur l'urine, espérant arriver à la pierre philosophale; au lieu de ce qu'il cherchait, il découvrit le phosphore. Kunckel, alors professeur à Vittemberg et dont la réputation comme chimiste était très-grande, en entendit parler, et en fit part à Krafft de Dresde, afin de se réunir à lui pour acheter ensemble le procédé. Krafft, à ce qu'il paraît, fit le voyage de Hambourg et acheta le secret de Brandt moyennant 200 dollars, à condition qu'il ne le révé-

(1) *De adamante in tenebris lucente*, 27 octobre 1663. — Id. Boyle, *Opera omnia*, t. 3, p. 152.

(2) *Mémoires de l'Académie des sciences*, t. 35, p. 342, 1737.

lerait à personne. Kunckel, d'après ce qu'il rapporte, outré de la conduite de son ami, travailla de son côté, et sachant que Brandt employait l'urine, opéra sur cette matière, et après de longs essais parvint à en retirer du phosphore. Il publia le procédé de préparation, et c'est par ce motif que pendant longtemps cette matière a pris le nom de phosphore de Kunckel. Boyle, vers cette époque, s'occupa aussi de ce sujet, et indiqua également le moyen dont il se servait pour obtenir cette substance (1).

Cependant la préparation était difficile, et le phosphore était assez rare ; mais en 1737 (2) un étranger, s'étant rendu à Paris, offrit de faire connaître un procédé qui fut soumis à l'examen d'une commission de l'Académie des sciences, composée de Dufay, de Duhamel, de Geoffroy et de Hellot, et le gouvernement français lui accorda une récompense. La méthode de préparation fut décrite avec détails par Hellot, rapporteur de la commission ; elle consistait à évaporer l'urine putréfiée et à chauffer ensuite fortement le résidu dans une cornue en grès dont le col, par une allonge, plongeait dans l'eau. Quelques années après, en 1743 (3), Margraff fit voir quelle était la substance qui dans l'urine donnait le phosphore, et conseilla l'addition, dans la matière, d'un sel de plomb. Enfin Gahn, en 1769, ayant découvert la présence du phosphore dans les os, publia avec Schèele un procédé qui permet de s'en procurer aisément des quantités un peu grandes. C'est ce procédé modifié que l'on emploie encore aujourd'hui.

CHAPITRE III.

Recherches entreprises depuis le commencement du dix-huitième siècle jusqu'en 1840.

§ 1. *Phosphorescence par les actions mécaniques.*

Depuis la découverte du phosphore les recherches des physiciens et surtout des chimistes furent dirigées principalement vers l'étude de ce corps ;

(1) Boyle, *Noctiluca aëria*, etc., 1693. — *Opera omnia*, t. 3.

(2) Voir *Mémoires de l'Académie des sciences* pour 1737, cités plus haut.

(3) *Opuscules chimiques* de Margraff, édit. de Paris, 1762, t. 1, p. 1 et 30.

on reconnut bien la différence entre les effets produits par le phosphore proprement dit et ceux que présentent les corps phosphorescents, puisque le phosphore avait besoin d'air pour luire, et qu'il luisait alors sans le secours d'aucune action extérieure, tandis que les corps phosphorescents pouvaient luire dans le vide, sous l'eau, mais par l'action du frottement, de la chaleur ou de la lumière. Des recherches n'en continuèrent pas moins pendant tout le dix-huitième siècle, en soumettant les minéraux et les matières organiques à des actions analogues à celle que l'on avait fait subir à l'urine; c'est même en faisant des expériences de ce genre que Homberg découvrit, en 1711 (1), la préparation d'un composé qui reçut aussi le nom de phosphore, en calcinant des matières fécales avec de l'alun : il se faisait du sulfure de potassium, qui prenait feu à l'air. On nomma ce nouveau phosphore pyrophosphore, et ensuite simplement pyrophore. D'autres matières organiques donnèrent des effets semblables, et Lemery fils fit également plusieurs préparations analogues.

Les recherches de Boyle en 1663 furent pour ainsi dire le point de départ des travaux relatifs à la phosphorescence des minéraux; on reconnut alors que le frottement, la chaleur ou l'action de la lumière pouvaient donner à certains corps la propriété de luire dans l'obscurité. Il faut examiner dans chaque classe de phénomènes quelles ont été les découvertes qui ont été faites.

En ce qui concerne les actions mécaniques, on peut citer l'effet lumineux observé par Homberg, en 1693 (2), quand on frappe le chlorure de calcium fondu provenant de la calcination de la chaux mélangée à l'état de poudre avec moitié de son poids de sel ammoniac; c'est un fait très-curieux, et qui paraît montrer nettement l'influence des actions mécaniques sur la production de la lumière.

En 1707 (3), Bernoulli et Cassini fils firent quelques expériences sur le dégagement de lumière dans le frottement des diamants et de plusieurs corps; ils observèrent évidemment dans quelques cas des lueurs électriques, et dans d'autres des effets analogues à celui que Boyle avait cité. Dufay, dans ses recherches (4), de 1730 à 1735, a également parlé de la phosphorescence par frottement.

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences*, t. 28, p. 234, 1711.

(2) *Ibid.*, t. 10, p. 307, volume 15^e (1693).

(3) *Ibid.*, t. 24, p. 1 (1707).

(4) *Ibid.*, t. 53, p. 347 (1735).

Les recherches d'Hawksbée (1), sur le frottement des corps dans le vide et dans les gaz et sur le dégagement d'électricité et de lumière qui a lieu dans cette circonstance, avaient montré, comme celles de Boyle et celles de Dufay, et même antérieurement à ces dernières, que la production de la lumière pouvait être indépendante de celle de l'électricité, puisque des corps lumineux et électriques par le frottement pouvaient perdre leur électricité et rester encore lumineux; cependant elles n'avaient pas établi que dans quelques cas l'élévation de température qui a lieu quand on frotte les corps qui deviennent lumineux ne fût pas la cause du phénomène, et qu'il ne se produisit pas alors un effet de phosphorescence par la chaleur.

Tel se trouve peut-être le cas du diamant. Cependant, quelques-uns des effets observés par Hawksbée, ainsi que le fait cité par Homberg, semblent ne devoir leur explication qu'à la production d'un phénomène de phosphorescence par des actions mécaniques.

Après ces recherches, on ne peut guère citer comme se rapportant à ce sujet que les observations faites en 1809 par Dessaignes (2), qui a mentionné des matières salines, comme les chlorures de mercure ainsi que le phosphate de ce métal, lesquelles produisent de la lumière au moment où on les broye. Il a montré qu'avec certains corps, comme la chaux phosphatée, le phosphore de Canton agglutiné, le frottement ne donnait lieu à une émission de lumière qu'en échauffant ces corps, et que si on les privait du pouvoir d'être phosphorescents par la chaleur, ce qui a lieu en les soumettant préalablement à l'action d'une température élevée, ils ne produisaient plus ce phénomène; mais il a fait voir qu'il y avait d'autres corps, comme certains silicates, des fragments de chaux, etc., qui, étant revenus à la température ordinaire après calcination, étaient encore lumineux par le choc. Ainsi, dans certains cas, l'action mécanique est bien une cause de dégagement de lumière.

§ 2. *Phosphorescence par l'action de la chaleur.*

Les phénomènes de phosphorescence par la chaleur ont été surtout étudiés à la fin du siècle dernier et au commencement de celui-ci. On savait depuis Boyle que les diamants chauffés pouvaient devenir lumi-

(1) *Physico-mecanical experiment.*, 1709. — *Id.*, traduction de Bremond, annotée par Desmarets (1754)

(2) *Journal de physique*, t. 69, p. 20. — *Id.*, t. 73, p. 41. — *Id.*, 74, p. 101.

neux; on connaissait également une substance, nommée phosphore Sma-ragdin (1), qui, de même que la pierre de Berne envoyée à l'Académie des sciences (2), était lumineuse par élévation de température; ces deux dernières substances étaient très-probablement, d'après leur description, du fluorure de calcium.

Dufay (3) montra que plusieurs pierres précieuses se trouvaient dans le même cas. Il fut conduit à deux remarques très-importantes : la première, que les minéraux phosphorescents par la chaleur perdaient, étant suffisamment calcinés, cette faculté et étaient incapables de redevenir lumineux par élévation de température; la seconde, que l'action de la chaleur tout en faisant perdre temporairement à ces mêmes corps, comme au phosphore de Bologne, la faculté de luire dans l'obscurité, ne changeait aucunement leur pouvoir, quand ils étaient revenus à la température ordinaire, de devenir lumineux dans l'obscurité après chaque exposition à la lumière du jour; c'est-à-dire qu'il y avait indépendance entre ces deux espèces de phosphorescences : phosphorescence par élévation de température, et phosphorescence par l'action de la lumière.

Depuis Dufay on a étendu la liste des corps phosphorescents par la chaleur, mais sans que l'on puisse connaître les causes qui donnent aux substances minérales cette propriété. On doit citer principalement, après ses recherches, le travail de Wedgwood publié en 1792 (4), dans lequel ce phénomène est étudié avec un certain nombre de minéraux.

Haüy (5) voulut faire de la phosphorescence un caractère minéralogique, et à propos des matières comme le spath fluor, la dolomie, etc., il indiqua les effets de phosphorescence que pouvaient produire la chaleur et le frottement.

En 1809, l'Académie des sciences de Paris couronna un mémoire de Dessaignes sur les phosphorescences, mémoire dont on a déjà parlé plus haut, et dans lequel il étudia le genre de phosphorescence dont il est question ici. Après avoir vérifié les faits connus avant lui, il arriva à des résultats très-curieux, et relatifs à la propriété que possède l'étincelle électrique excitée à distance de substances privées par la calcination de leur phosphorescence par la chaleur de rendre à ces substances le pouvoir d'être lumineuses par élévation de température.

(1) *Mém. de l'Acad. des sciences*, t. 2, p. 129.

(2) *Id.*, t. 42, p. 58 (1724).

(3) *Id.*, t. 53, p. 352 (1735).

(4) *Philosoph. transact.*, t. 82, p. 28.

(5) Haüy, *Traité de minéralogie* (t. 1 à 4).

Déjà on avait vu que la lumière électrique, comme les lumières artificielles, pouvait impressionner les corps phosphorescents; on verra en effet plus loin que Canton, en 1764, avait parlé de ce résultat et que Wilson avait même fait voir que l'activité communiquée aux coquilles d'huitre par les décharges électriques était supérieure à celle que donnait la lumière solaire. Michel de Grosser avait également obtenu le même effet avec des diamants. Dessaignes étendit ces résultats à d'autres matières que les coquilles calcinées. Voici un des passages de son mémoire :

« Si l'on prend de la poudre de verre rendue imphosphorescente par calcination, qu'on l'établisse sur un support isolant entre les deux boules d'un excitateur universel, et que dans cet état l'on oblige la décharge d'une bouteille de Leyde à passer par les tiges de l'excitateur et à traverser le petit tas de poudre, celle-ci se trouvera réintégrée dans sa phosphorescence après quatre ou cinq explosions de bouteilles. En effet, si on la jette sur un support chaud, même après l'avoir maniée longtemps dans les mains, elle y produit une vive scintillation, parfaitement semblable à celle de la phosphorescence naturelle.

« J'ai redonné par ce moyen à toutes les substances minérales de la nature leur propriété phosphorique; je ne pense en excepter aucune; j'ai exposé de la poudre imphosphorescente et électrisée à l'air atmosphérique sur une plaque de zinc pendant plus de six mois, pour voir si l'influence d'un support métallique et les variations de l'air lui raviraient son fluide: elle a répandu après cette épreuve autant d'éclat sur la cuiller que le premier jour de son électrisation (1). »

On voit d'après cela que Dessaignes avait rendu aux corps au moyen des étincelles électriques la propriété d'émettre de la lumière par élévation de température; mais il pensait que l'effet était dû à l'influence spéciale de l'électricité.

A la même époque, et pour le même concours de l'Académie des sciences de Paris, Placidus Heinrich, professeur à Ratisbonne, envoya un ouvrage très-étendu et fort intéressant, mais qui ne fut mis qu'au second rang (2). Dans cet ouvrage il parla de la phosphorescence par élévation de température et par insolation, et, comme Dessaignes, il montra que l'électricité peut rendre aux minéraux la phosphorescence qu'ils ont perdue.

(1) *Journal de physique*, t. 68, p. 465; 1809. — *Id.*, t. 71, p. 67.

(2) Voir *Journal de physique*, t. 74, p. 311. — Becquerel, *Traité d'électricité*, en 7 vol., t. 6, p. 269.

Seulement, suivant lui, la cause de ce phénomène n'était pas due à une action spéciale de la part de l'électricité, comme le pensait Dessaignes, mais bien à l'influence de la lumière électrique. Canton et Wilson pensaient également que les étincelles agissaient par leur lumière, et nous verrons plus loin que cette opinion est celle qui doit être adoptée.

En outre de ces recherches on peut citer celles de Théodore de Saussure (1), qui a examiné quelle était l'influence du fer ou d'autres matières sur la phosphorescence du spath fluor et de quelques composés à base de chaux; celles de Grotthus (2), de Brewster (3), qui a montré que la phosphorescence par la chaleur se produisait avec un grand nombre de minéraux, ainsi que les recherches de Pearséal (4). Ce dernier a fait des expériences analogues à celles de Dessaignes et de Placidus Heinrich sur la propriété que possèdent les décharges électriques de rendre la phosphorescence par la chaleur aux corps qui l'ont perdue; mais il a de plus observé que certains spaths fluors qui avaient perdu leur couleur en même temps que leur phosphorescence reprenaient une légère coloration au moyen de cette influence. Ce sujet sera étudié dans le livre III, et l'on reviendra sur ces derniers travaux.

§ 3. *Phosphorescence par l'action de la lumière.*

Depuis deux siècles, la phosphorescence par l'action de la lumière a été étudiée concurremment avec celle que peut faire naître la chaleur, et cela en partie par les mêmes savants. Après le travail de Boyle et avant la découverte du phosphore par Brandt, Baudoin (5), en 1675, montra que le résidu de la calcination du nitrate de chaux pouvait, comme la pierre de Bologne calcinée, luire dans l'obscurité après son exposition à la lumière; seulement, cette matière attirant l'humidité de l'air perdait promptement sa propriété; elle a été appelée phosphore de Baudoin. Hornberg, à la fin du seizième siècle, en même temps qu'il montrait les propriétés du phosphore qui porte son nom, et qui est, comme on l'a vu, du chlorure de calcium, et au milieu des recherches qui l'ont conduit à

(1) Becquerel, *Traité d'électricité*, en 7 volum, t. 6, p. 269.

(2) *Journal de Schweigger*, t. 14, p. 134 (1815). — Becquerel, t. 6, p. 272.

(3) *Journal philosophique d'Edimbourg*, t. 1, p. 363. — *Ann. de chimie et de physique*, 2^e série, t. 14, p. 289 (1820).

(4) *Ann. de chim. et de phys.*, 2^e série, t. 49, p. 337 et 346 (1832).

(5) Baudoin, *Phosphorus hermeticus, etc., Philosoph. transact. Abridg.*, t. 11, p. 368.

découvrir son pyrophore, étudiait la préparation du phosphore de Bologne et des propriétés qu'il présente.

Dufay donna une certaine impulsion aux recherches faites dans cette direction, en montrant qu'un très-grand nombre de pierres calcinées, de coquilles, de concrétions calcaires, etc., pouvaient donner des corps lumineux après leur exposition à la lumière (1); il vit que la propriété reconnue par Boyle à quelques diamants appartenait à presque tous, et surtout aux diamants jaunes et à un certain nombre de minéraux; il observa, comme on l'a déjà mentionné plus haut, que la faculté de phosphorescence par insolation était indépendante de la propriété que les minéraux possédaient de luire par élévation de température, en ce sens, qu'une calcination suffisante qui avait fait émettre au corps toute la lumière qu'il pouvait donner les rendait impropres à donner de nouveau le même effet; mais que ces minéraux étaient aussi phosphorescents par insolation qu'avant cette action (2). Enfin, il montra que des diamants exposés à la lumière dans des boîtes couvertes de différents verres colorés brillaient de même nuance et ne participaient nullement à la couleur du verre. On voit que les expériences de Dufay, quoiqu'en petit nombre, avaient été très-bien conduites et avaient touché aux points les plus intéressants de la phosphorescence par insolation.

Les expériences de Beccaria (3), professeur à Bologne, ont augmenté beaucoup la connaissance du nombre des matières qui jouissent de la faculté d'être lumineuses après l'insolation; il a reconnu que si l'on expose à la lumière un grand nombre de substances organiques convenablement desséchées ainsi que beaucoup de minéraux, à l'exception des métaux et des pierres brunes, et que l'observateur puisse les voir sans que ses yeux aient été influencés par les rayons lumineux extérieurs, ces matières deviennent visibles dans l'obscurité pendant un temps plus ou moins long après l'action préalable des rayons solaires.

Pour faire aisément ces recherches, Beccaria avait fait construire une sorte de loge portative en forme de tour « comme ceux des couvents de religieux, » dit l'auteur, à l'un des côtés de laquelle une ouverture pouvait

(1) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, t. 48, p. 524 (1730).

(2) *Ibid.*, t. 53, p. 347 (1735).

(3) *De quam plurimis phosphoris, etc.*; Bologne, 1744. *De bononiensi Instituto atque Academia*, t. 2, 1^{re} partie, p. 274 (1745); — t. 2, 2^{me} partie, p. 136 (1746); — t. 2, 3^e partie, p. 498. — *Mém. de l'Acad., collect. académique, partie étrangère*, t. 10, p. 197. — Becquerel, *Traité de physique*, t. 2, p. 163. — Becquerel, *Traité d'électricité*, t. 1, p. 65.

permettre le passage de l'objet et son exposition à la lumière, sans que l'observateur cessât d'être dans l'obscurité.

A peu près à la même époque, Zanotti (1), secrétaire de l'Académie de Bologne, étudia l'action de rayons de différentes couleurs sur le phosphore de Bologne, et fit des expériences analogues à celles que Dufay avait entreprises à l'aide de diamants en les éclairant au moyen de verres différemment colorés ; seulement il opéra avec un spectre solaire. Il reconnut, comme Dufay, que le phosphore de Bologne émettait une lueur dont la couleur était indépendante de celle des rayons incidents. Zanotti paraît être le premier qui se soit servi des rayons du spectre dans des expériences de ce genre.

Margraff (2), dont on a cité plus haut les recherches sur la préparation du phosphore de Bologne, a fait une étude chimique de ce composé, et a montré que le minéral nommé pierre de Bologne était un sulfate qui lors de sa calcination avec le charbon se changeait en sulfure. Il observa que ce sulfure, formé en vase clos, n'était pas lumineux après l'insolation, comme celui qui était obtenu par la calcination dans le fourneau en présence de l'air.

Comparant la composition de la pierre de Bologne avec celle des sélénites ou sulfates de chaux, il calcina ces sulfates avec du charbon, comme la pierre de Bologne, et obtint du sulfure de calcium phosphorescent, et cela que la calcination eût eu lieu à l'air libre ou en vase clos. Bien plus, il prépara artificiellement du sulfate de chaux, le mélangea avec du charbon et obtint des matières phosphorescentes ; il remarqua même que, suivant l'espèce de pierre employée pour préparer le sulfate de chaux, il avait des matières phosphorescentes rouges ou blanches. Ces effets, comme on le verra dans le livre VI, pouvaient dépendre du plus ou moins de calcaire que renfermaient ces pierres, ainsi que de leur état moléculaire particulier.

Le travail de Margraff est le travail chimique le plus intéressant qui ait été fait dans le siècle dernier sur les matières phosphorescentes par insolation ; ce chimiste avait indiqué la véritable voie à suivre dans cette étude. Depuis, les recherches ont été faites plutôt au point de vue physique pour connaître les propriétés lumineuses des corps phosphores-

(1) *De bononiensi Instituto, etc...* t. 1, p. 181 (1748).

(2) Margraff, *Opuscules chimiques*, 13^{me} dissertation, édition française de 1762, t. 1, p. 383.

cents, qu'au point de vue chimique pour déterminer la composition de ces corps.

Canton, en 1764 (1), fit connaître une substance phosphorescente qui est plus facile à préparer que la pierre de Bologne; aussi cette matière a-t-elle porté le nom de phosphore de Canton, et a-t-elle servi à un grand nombre de recherches. Il suffit pour la préparer de calciner préalablement des écailles d'huître dans un creuset, puis de les pulvériser, de mélanger la poudre avec $\frac{1}{4}$ de son poids de soufre, et de chauffer le mélange jusqu'au rouge pendant une heure. On a alors une substance qui exposée à la lumière est visible dans l'obscurité. C'est, comme on le verra plus tard, livre VI, du sulfure de calcium, qui peut être lumineux vert ou jaune suivant sa préparation.

Canton montra que la lumière d'une bougie, celle de la lune, ou les étincelles électriques pouvaient rendre sensible cette substance. Il fit voir que cette matière étant chauffée dans l'obscurité ne devient lumineuse par la chaleur que si elle a été préalablement exposée à l'action de la lumière, et que si on la chauffe immédiatement après l'impression lumineuse, l'action est plus vive qu'en élevant sa température plusieurs jours après. La chaleur donne donc lieu, dans un temps plus court, à l'émission de la lumière que le corps aurait donnée plus lentement à la température ordinaire.

Cantona cité en outre ce résultat intéressant, que si au bout de plusieurs mois la matière, préalablement insolée, a été chauffée avec de l'eau bouillante, elle ne produit rien; chauffée alors vers 500° , elle devient lumineuse pour retomber inactive jusqu'à ce qu'une nouvelle insolation se reproduise. Ainsi l'émission lumineuse, qui n'avait pas lieu par une faible élévation de température, est produite par un effet calorifique plus énergique; il faut donc supposer, comme nous le verrons plus tard, que la lumière imprime au corps, non pas seulement une modification tempo-

(1) *Méthode facile de faire un phosphore, etc.*, par Canton (voir *Journal de physique*, 1771, t. 1, p. 124). Je possède un échantillon de phosphore de Canton, lumineux vert, préparé par Canton lui-même. Ce phosphore est dans un petit ballon scellé à la lampe sur lequel se trouve gravée la date du 24 décembre 1764; et comme Canton, dans la première expérience rapportée dans son mémoire, dit qu'il a exposé à la lumière son phosphore placé dans des ballons scellés, à partir du 25 décembre 1764, il est très-probable qu'il avait préparé ses ballons la veille, le 24 décembre, et que celui que je possède est un de ceux qui ont servi à ces recherches. Voilà plus d'un siècle qu'il est préparé, et il est aussi lumineux qu'on peut l'obtenir par le procédé qu'il indique; il n'a donc été nullement altéré. Cet échantillon m'a été fort obligeamment donné par M. Wheatstone.

raire et pouvant se perdre à la température ordinaire, mais une modification permanente et ne se détruisant qu'à l'aide d'une température plus élevée.

Dessaignes et Placidus Heinrich en 1809, comme on l'a vu précédemment, ont observé le même effet à l'aide des décharges électriques.

Wilson (1) publia quelques années après un mémoire ayant pour titre : « Sur les phosphores et les couleurs prismatiques qu'ils présentent. »

Son travail, comme il le dit lui-même, n'est qu'une continuation des recherches de Beccaria ; il n'a pas étendu le nombre des matières phosphorescentes connues, mais il a fait plusieurs expériences intéressantes surtout en employant les écailles d'huttre calcinées. Il a remarqué que les coquilles calcinées pouvaient présenter sur la même surface des lamelles de différentes nuances, les unes rouges, les autres jaunes, d'autres vertes ou bleuâtres ; dès lors il fit calciner ces coquilles avec des composés métalliques, mais sans obtenir aucun effet en rapport avec ce qu'il cherchait. Il se borna donc à séparer sur les mêmes coquilles les parties qui luisaient différemment, de façon à avoir des matières qui étaient soit rouges, soit jaunes, soit vertes, mais sans connaître le motif des différences observées.

On a vu précédemment que Dufay et Zanotti avaient montré que la couleur de la lumière émise ne dépendait pas de la teinte des rayons actifs, puisque le phosphore de Bologne et le diamant luisaient avec leur teinte propre sous l'action des rayons de diverses couleurs. Beccaria avait un moment prétendu le contraire, mais il n'avait pas suffisamment étudié la question. Wilson opéra avec la lumière décomposée par le prisme, et examina l'effet du spectre sur les coquilles qui brillaient par phosphorescence avec différentes nuances. Il vérifia que chaque coquille ne donne que la lumière qui lui est propre, quelle que soit la couleur du rayon qui l'excite ; ainsi les fragments lumineux rouges émettent une lumière rouge dans l'obscurité tout aussi bien quand ils ont été placés dans le violet que dans le bleu ou le rouge du spectre ; de même les fragments lumineux verts sont phosphorescents verts après l'action des rayons violets, bleus ou rouges. Il confirma donc les expériences de Dufay et de Zanotti, lesquelles montrent qu'il y a indépendance complète entre la couleur des rayons actifs et la couleur de la lumière émise par les matières phosphorescentes.

(1) *Journal de physique*, t. 8, p. 72 (1776). — Id., t. 15, p. 92 (1780).

Bien que cette conclusion soit exacte, ces physiciens ont opéré évidemment avec un spectre mal épuré et qui contenait de la lumière blanche. Ils ont bien observé que les rayons violets et bleus agissaient plus vivement que les rouges ; mais, comme nous le verrons plus loin, les rayons rouges ne donnent pas d'illumination sur le phosphore de Canton et ne produisent qu'une destruction d'effet.

Wilson montra qu'il n'y avait aucun rapport entre la durée de la lumière émise et l'intensité de celle-ci ; car du spath fluor faiblement lumineux peut conserver pendant longtemps sa lumière, tandis que d'autres corps qui brillent davantage s'éteignent plus vite. Pour prouver qu'il faut un temps très-court pour qu'un corps soit impressionné, il employa les décharges électriques, qui donnent, même aux coquilles, une phosphorescence plus vive que la lumière solaire.

Il a indiqué comme conséquence des effets observés que même sous l'influence de la lumière extérieure les corps phosphorescents sont lumineux avec les nuances qui leur sont propres, et que si on ne distingue pas les lueurs phosphorescentes quand ils sont exposés au jour, cela tient à l'intensité de la lumière extérieure, qui efface complètement la lumière qu'ils peuvent émettre.

Dans le travail de Wilson se trouvent énoncées des idées théoriques qui ne sauraient être admises, et dont il n'est pas nécessaire de parler. Ce qu'il importe de connaître, ce sont les faits bien constatés : c'est ainsi que les autres travaux relatifs à la phosphorescence ont été rapidement analysés seulement sous le point de vue expérimental.

On doit mentionner encore parmi les recherches faites à la fin du siècle dernier celles de Michel de Grosser (1) sur le diamant ; il plaça des diamants impressionnables dans différents rayons du spectre solaire, et montra, comme les physiciens qui viennent d'être cités, l'indépendance qui existe entre la teinte de la lumière émise et celle des rayons actifs. Il a également rendu lumineux les diamants au moyen de l'étincelle électrique, et a observé que des diamants inactifs calcinés seuls, ou entourés de charbons, n'avaient acquis aucune vertu phosphorique, mais que calcinés dans du borax fondu ils étaient devenus lumineux par insolation après leur refroidissement. Il a répété, dit-il, cette expérience avec trois diamants. Est-ce la surface seule qui a été modifiée ? C'est une étude qui n'a pas été faite. On verra plus tard, livre VI, comment la chaleur peut agir pour modifier les propriétés phosphorescentes des corps.

(1) *Journal de physique*, t. 20, p. 270 (1782).

En 1800, William Herschell (1) découvrit que les rayons les moins réfrangibles du spectre lumineux, les rayons rouges, donnent une élévation de température plus grande que les rayons bleus, et même qu'en dehors du rouge, dans la partie invisible du spectre moins déviée que le rouge, le thermomètre indique encore une élévation de température. Cette observation de l'action sur le thermomètre de rayons calorifiques invisibles appela l'attention de plusieurs physiciens, qui cherchaient à s'assurer si des effets de même ordre n'auraient pas lieu de l'autre côté du spectre, en dehors du violet, soit sur les substances phosphorescentes, soit sur les matières chimiquement impressionnables.

Ritter à léna (2), Inglefield (3) et Wollaston (4) à Londres, s'occupèrent de cette question; Inglefield, après avoir observé, comme les physiciens cités plus haut, que les rayons bleus et violets étaient plus efficaces que les rayons rouges pour exciter le phosphore de Canton, émit l'opinion que les effets de phosphorescence devaient se prolonger au delà du violet de même que les effets chimiques de la lumière sur le chlorure d'argent, car ce dernier corps, d'après l'observation de Schæele en 1777 (5), noircissait à la lumière de préférence dans les rayons violets; mais il ne fit pas l'expérience. Ritter, sur l'annonce de la publication d'Inglefield, fit connaître les résultats qu'il avait obtenus, prouvant l'action chimique de rayons invisibles situés au delà du violet, et doit être considéré comme ayant le premier réalisé l'expérience. Il ne s'occupait pas de la phosphorescence, mais seulement des actions chimiques exercées sur les sels d'argent et sur le phosphore.

Wollaston, dans une note annexée au mémoire cité plus haut sur les pouvoirs réfringents, mémoire dans lequel il annonçait l'existence de raies noires dans le spectre lumineux, dit qu'il avait observé, comme Ritter, que l'action chimique exercée par la lumière sur le chlorure d'argent se prolonge en dehors du violet visible.

Un fait très-curieux relativement aux effets produits par la lumière sur les corps phosphorescents, et que l'on doit signaler à propos de l'action des rayons différemment réfrangibles, se trouve rapporté dans l'ouvrage

(1) *Philosophical transact.*, t. 90 (1800).

(2) *Ann. de Gilbert*, t. 12, p. 409 (Mém. de 1801 à 1802), publié en 1803. — *Journal de physique*, t. 57, p. 409 (1803).

(3) *Ann. de Gilbert*, t. 12, p. 408; mémoire publié en 1803.

(4) *Philosophical transactions*, t. 92 (1802).

(5) *Traité de l'air et du feu*; traduct. française (1781), § 66, p. 145.

sur les couleurs dû à Gœthe (1); ce fait résulte d'expériences de Seebeck et de Gœthe, qui, à ma connaissance, n'ont été publiées que dans cet ouvrage. Je traduis textuellement les deux paragraphes 678 et 679 de l'ouvrage de Gœthe :

« Le phosphore de Bologne devient lumineux sous l'influence des verres bleus et violets, et jamais sous les verres jaunes et orangés; on peut remarquer que le phosphore rendu lumineux par l'action des couleurs bleues et violettes s'éteint plus vite dans les rayons jaunes et orangés que s'il a été placé simplement dans une chambre obscure; or, si on répète ces expériences au moyen du spectre prismatique, on arrive toujours aux mêmes résultats. »

Les physiiciens qui avant Herschel et Wollaston avaient opéré sur le spectre s'étaient évidemment servis d'un spectre mal épuré; ce n'est que depuis les recherches de ces physiiciens que la division des rayons de diverse réfrangibilité a été mieux effectuée. On verra plus tard quels sont les travaux faits en 1815 par Fraunhofer sur le spectre lumineux ainsi que la découverte qu'il a faite d'un grand nombre de raies noires qui s'y rencontrent, et combien de nos jours on a été loin dans cette étude.

Quelques auteurs dont on a parlé plus haut se sont occupés de la phosphorescence par insolation. Parmi les résultats observés par Desaignes (2), on peut citer ce fait que le verre ordinaire devient phospho-

(1) *Goethe zur Farbenlehre*, 3^e chapitre, 55, § 678 et 679. — *Œuvre scientifique de Gœthe*, par E. Favre, 1862, p. 211.

En 1842 lorsque je présentai à l'Académie des sciences un de mes premiers mémoires sur la phosphorescence par insolation, je montrai de quelle manière les rayons du spectre agissaient sur les surfaces phosphorescentes, et j'observai l'action destructive produite par les rayons jaunes et rouges. Je n'avais nullement connaissance de l'observation de Seebeck, qui n'était consignée que dans l'ouvrage de Gœthe, et à la séance où je fis la présentation de mon travail, Arago mentionna les résultats indiqués plus haut (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences de Paris*, t. 14, p. 903, 1842). Depuis, j'ai étudié ce sujet à diverses reprises, et j'ai montré que les rayons les moins réfrangibles ne détruisaient pas l'effet de phosphorescence aussi simplement qu'on l'avait supposé; dans les premiers moments de l'action des rayons rouges, orangés et jaunes, les sulfures phosphorescents brillent d'abord, puis toute lumière cesse. Il est probable que cette partie du rayonnement qui détruit la phosphorescence la détruit à la manière de la chaleur. Comme les corps phosphorescents ne sont capables que de rendre une certaine somme de lumière après leur exposition au rayonnement, les rayons les moins réfrangibles donneraient lieu, d'après cela, à une émission rapide de lumière, et quand les substances auraient émis toute la lumière qu'ils pourraient produire, ils cesseraient de luire. On verra, du reste, que les rayons rouges et jaunes peuvent donner lieu à des effets différents quand ils agissent sur d'autres corps que sur les sulfures phosphorescents. (*Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 22, p. 244, 1848, et t. 55, p. 5, 1858.)

(2) *Journal de physique*, t. 69, p. 5, et t. 71.

rescent à la lumière, seulement après avoir été porté à la température rouge; ce corps perd ensuite peu à peu son pouvoir de phosphorescence et le reprend après une nouvelle calcination. Il est arrivé à des résultats intéressants en faisant usage de la lumière électrique, effets dont il a été question à l'occasion de la phosphorescence par élévation de température.

Grotthus (1), qui, de même que Dessaignes, a attribué aux phénomènes de phosphorescence une origine électrique, a fait plusieurs séries d'expériences curieuses, et a confirmé les recherches de Dufay, de Zanotti et de Wilson, d'après lesquelles une substance phosphorescente n'émet jamais une lumière de même couleur que celle qui agit sur elle, à moins que cette dernière ne soit de même couleur que celle émise naturellement par la substance quand elle devient phosphorescente.

En 1839, mon père (2) s'est occupé de l'action des décharges électriques pour provoquer la phosphorescence, et a démontré que les décharges n'agissaient que par les rayons qu'elles émettaient, et non pas par un effet électrique spécial, car les effets pouvaient être produits à des distances plus ou moins grandes. Il a prouvé que des écrans transparents et incolores agissaient très-inégalement sur les corps phosphorescents, les rayons actifs étant absorbés dans d'autres proportions que les rayons qui excitent la rétine. Conjointement avec M. Biot (3), il a signalé des faits très-intéressants se rapportant à la même question ainsi qu'à la transmission de l'action de phosphorescence autour d'un point primitivement impressionné au milieu d'une surface pouvant devenir phosphorescente.

Je terminerai ici l'exposé historique sommaire des principales recherches relatives à la phosphorescence. Je n'ai pas cité tous les travaux publiés, mais j'ai parlé de ceux qui ont conduit aux faits les plus importants et les mieux établis. Depuis près d'une trentaine d'années, je me suis livré à une série de recherches sur la phosphorescence et principalement sur la phosphorescence par insolation (4); ces recherches faisant

(1) *Journal de Schweigger*, t. 14, p. 134 (1815). — Becquerel, *Traité d'électricité*, t. 6, p. 272.

(2) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 8, pages 183, 216, 272; *Traité d'électricité*, t. 4, p. 284.

(3) *Comptes rendus*, t. 8, p. 223. — *Archives du Muséum d'histoire naturelle*, nouv. série, t. 1, p. 215 (1839).

(4) *Comptes rendus de l'Acad.*, t. 8, p. 493. — *Archives du Muséum*, t. 1, p. 215. — *Comptes rendus*, t. 14, p. 901. — *Biblioth. univ. de Genève*, t. 40, p. 341, 1842. —

presque entièrement le sujet de plusieurs chapitres de la première partie de cet ouvrage, ce serait un double emploi de les résumer ; je n'en parlerai que dans les livres suivants.

Ann. de chimie et de phys., 3^e série, t. 9, p. 257 (1843). — *Ann. de chimie et de phys.*, 3^e série, t. 22, p. 244 (1848). — *Id.*, t. 55, p. 5 (1858). — *Comptes rendus*, t. 47 (1858). — *Id.*, tome 48, p. 404 (1859). — *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 40 (1859). — *Id.*, t. 62, p. 5 (1861). — *Société chimique de Paris*, leçon 1861.



LIVRE II.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR LES ACTIONS MOLÉCULAIRES.

CHAPITRE PREMIER.

Effets lumineux produits par le frottement et par la percussion.

Toute cause qui imprime aux molécules des corps un mouvement vibratoire dont la vitesse acquiert une grandeur suffisante est une cause productrice de lumière; parmi elles, on peut distinguer les actions mécaniques et physiques comme le frottement, le choc, le clivage, la cristallisation, qui peuvent donner lieu aussi à un dégagement de chaleur.

Quand on frotte un grand nombre de corps les uns contre les autres ou avec un corps dur, on observe des lueurs plus ou moins vives. Les corps qui présentent ces effets sont en général des minéraux ou des matières fondues comme le verre; les métaux ne donnent aucun effet (1). Ainsi lorsqu'on frotte deux cristaux de quartz dans l'obscurité, on aperçoit des étincelles de couleur rouge.

On sait que le choc du briquet contre un morceau de silex donne dans l'air des étincelles dues à la combustion des parcelles de fer détachées et échauffées par l'action du frottement. Cet effet n'a pas lieu dans le vide; mais en expérimentant dans l'obscurité, on voit, d'après Hawksbée (2), une traînée lumineuse pâle et faible sur le tranchant du silex

(1) Dufay, *Mémoires de l'Acad. des sciences de Paris*, t. 53, p. 347 (1735). — Dessaignes, *Journal de physique*, t. 69, page 20. — Becquerel, *Traité d'électricité*, en 7 volumes, t. 4, p. 48, et *Traité de physique*, t. 2, p. 129.

(2) Hawksbée, *Physico-mecanical experiment* (1709).

frotté par l'acier. Il se produit probablement dans cette circonstance un phénomène de phosphorescence par frottement.

Si l'on imprime un mouvement rapide de rotation, dans le vide, à une roue en verre, et qu'on appuie avec force sur la circonférence un tube de verre qui frotte sur la roue, il se manifeste une lueur assez intense dont la couleur est d'un rouge de feu. Il en est de même en opérant dans l'air ou dans l'eau, mais avec moins d'intensité. On peut obtenir également des effets analogues en frottant dans le vide, contre le verre, des corps comme la chaux carbonatée, les coquilles d'huitre, etc.

Dans la dolomie, la propriété phosphorique par frottement est bien développée : il suffit de la frotter avec un corps dur pour apercevoir une traînée lumineuse rouge, propriété qui dépend de la texture plutôt que de la dureté de la matière, car il y a des dolomies très-dures qui en sont privées, tandis que d'autres, plus tendres, la possèdent à un haut degré; nous citerons par exemple celle du Saint-Gothard.

Un très-grand nombre de minéraux, de pierres précieuses comme le diamant, les path fluor, la chaux phosphatée, etc., jouissent de cette propriété. Quand on frotte certains diamants sur une étoffe de laine ou sur un corps dur, ils paraissent entourés d'une lueur; on a vu dans l'histoire, livre I^{er}, que ce phénomène paraissait avoir été observé avec le diamant par Boyle en 1663; il a été étudié attentivement par Dufay (1). Ce physicien a montré que la lueur émise n'est pas dépendante de l'électricité dégagée par frottement, car il y a des diamants qui sont lumineux et non électriques, et d'autres qui s'électrisent par frottement et ne produisent pas de lumière; ainsi il a fait voir qu'un diamant rendu électrique par frottement, ayant été mouillé, avait perdu son action électrique mais avait conservé sa lueur phosphorescente.

Il a encore reconnu des différences très-considérables suivant les échantillons soumis à l'expérience. De tous les diamants jaunes que Dufay a essayés un seul fut médiocrement lumineux; tous présentaient le phénomène au même degré, ainsi que la propriété d'être lumineux après l'insolation, comme on le verra plus tard. Un gros diamant fleuve de pécher émettait une vive lumière dès le premier frottement, et cependant il était moins électrique que les jaunes; un diamant vert produisit un effet contraire, c'est-à-dire que, bien qu'il fût électrique, il était difficilement lumineux par frottement. Un gros diamant bleu

(1) Voir *Mém. de l'Acad. des sciences*, t. 53 (1735).

de glaces, n'était pas sensiblement phosphorescent; comme il est électrique, il émettait une petite étincelle en approchant le doigt; tant couleur améthyste se comporta de même.

La lumière, l'électricité, la chaleur ne sont que des manifestations de d'effets moléculaires; par conséquent peu importerait que les phénomènes lumineux, électriques, calorifiques existassent simultanément ou se produisent successivement; seulement ces résultats indiquent que ces phénomènes peuvent se manifester indépendamment les uns des autres. Dans certaines circonstances où l'origine électrique de la lumière produite dans les minéraux est évidente; mais dans la plupart des cas cités plus haut le phénomène lumineux peut être considéré comme dû à une action moléculaire produite par le frottement lui-même.

On peut encore citer les effets produits par des minéraux à base de silice; ainsi le spath fluor à surface grenue est phosphorescent par le frottement; tandis que celui qui est compacte l'est moins; la chaux phosphorescente l'Esdramadure est également lumineuse.

M. Saussure a montré que le marbre blanc ou de couleur, c'est-à-dire calcaire compacte, calciné au rouge avec l'acide phosphorique, n'est point phosphorescent par frottement, tandis que cette propriété est développée dans la craie qui a subi la même préparation; le frottement d'une plume suffit alors pour produire la phosphorescence apparente de traits lumineux. Cette propriété se manifeste encore quand on enlève la couche vitreuse formée à la surface.

Dans les différentes circonstances ci-dessus indiquées, la couleur de la lumière émise par frottement dépend de la nature des matières; avec le spath fluor et la dolomie, comme on l'a vu, la lumière émise est rouge; avec les calcaires, la chaux phosphatée, elle est jaune; avec deux morceaux de porcelaine frottés l'un contre l'autre, elle a également cette teinte.

Les minéraux qui sont phosphorescents par l'action du frottement peuvent présenter des actions analogues sous l'influence de la chaleur ou de la lumière; mais les phénomènes produits sont complètement indépendants les uns des autres. Ainsi, le quartz, qui est très-lumineux par le frottement, l'est bien moins par l'action de la chaleur et très-peu sous l'influence de la lumière, comme on le verra plus tard; le spath fluor, le spath calcaire, le spath arsénical, le spath étain, le spath fluor, sont au contraire lumineux par ces trois actions. D'un autre côté, cette indépendance est rendue manifeste par le fait, qui sera établi plus loin, que la phosphorescence par

la chaleur peut toujours être détruite dans un corps par l'action d'une température suffisamment élevée et prolongée, tandis que l'action de la lumière rend toujours lumineux un corps phosphorescent par insolation, soit que ce corps n'ait pas été échauffé, soit qu'il ait subi l'influence préalable de la chaleur.

CHAPITRE II.

Effets lumineux produits par le clivage et la cristallisation.

§ 1. *Clivage.*

Lorsqu'on clive dans l'obscurité une lame de mica, on aperçoit une faible lueur; mais comme chaque lame séparée manifeste chacune des deux électricités, on peut supposer que l'effet produit a une origine électrique. Cependant, les effets que produisent certaines matières fondues ainsi que ceux que l'on observe lors de la cristallisation de plusieurs substances ne paraissent pas avoir cette origine, et sont des exemples d'actions lumineuses produites lors de changements brusques dans l'état moléculaire des corps. Ainsi on a observé que l'acide borique fondu dans un creuset de platine se fendille au moment du refroidissement en répandant quelquefois une lueur qui suit la direction des fentes.

Quand on broie dans un mortier certaines variétés de feldspath, ou bien lorsqu'on frappe à coups redoublés la variété adulaire qui se clive avec facilité, il se produit de la lumière dans le sens des fissures; d'autres matières, comme le sucre, donnent lieu à des effets du même genre. L'une de celles qui produit les effets peut-être les plus marqués est le nitrate d'urane cristallisé, quand les cristaux sont suffisamment secs; en cassant chaque cristal dans l'obscurité, on voit une lueur qui l'illumine en entier; Il suffit même d'agiter dans l'obscurité le flacon qui contient les cristaux pour voir apparaître des lueurs dans toutes les parties du nitrate, car le choc des cristaux les uns contre les autres suffit pour produire la rupture d'un grand nombre d'entre eux.

Le chlorure de calcium produit des effets qui sont également remarquables et qui ont été découverts par Homberg, en 1693, comme on l'a vu dans le livre I^{er}. Lorsque ce sel est fondu dans son eau de cristallisation (1), si l'on transporte le creuset dans une chambre noire et qu'on le laisse refroidir graduellement, non-seulement la lumière phosphorescente persiste pendant plusieurs minutes, mais on voit distinctement des corruscations accompagnées d'un craquement, dû probablement à la contraction soudaine de la masse ou à la cristallisation. On produit également le phénomène en plongeant une baguette de verre dans la solution, dont une partie se concrète autour de la baguette et qu'on peut ensuite enlever. Quand le creuset est refroidi et la phosphorescence disparue, on obtient de très-belles étincelles en rayant simplement le chlorure avec un instrument aigu, ou en le frappant avec un marteau. On obtient encore des lueurs phosphoriques en broyant la substance dans un mortier.

La couleur des étincelles paraît varier avec le degré d'ébranlement communiqué à la masse; si l'on raye doucement, on a de faibles étincelles qui deviennent jaunes en rayant plus fortement; un petit coup frappé avec un marteau donne une étincelle de couleur orangée.

Il faut que le chlorure soit nouvellement fondu pour présenter cet effet; mais tous les chlorures ne le produisent point. Il est possible que des conditions non encore spécifiées et analogues à celles que H. Rose a indiquées pour les sulfates, et dont il va être question plus loin, soient nécessaires et que peut-être la présence du fer, comme l'indiquerait quelques expériences de Th. Saussure (2) donne au chlorure cette propriété; c'est ce que des recherches nouvelles pourraient indiquer.

§ 2. Cristallisation.

La cristallisation d'un certain nombre de sels donne lieu, au sein même du dissolvant, à une émission de lumière qui est d'autant plus curieuse qu'elle se produit au moment même de la formation de chaque cristal; ce sont comme de petites étincelles qui marquent la place où se dépose chacun d'entre eux et à certains moments; quand cette formation est rapide, on voit le vase entièrement illuminé. Berzélius a cité

(1) Becquerel, *Traité de physique*, t. 2, p. 136. — Id., *Traité d'électricité*, t. 6, p. 281.

(2) Becquerel, *Traité d'électricité*, t. 6, p. 269.

des effets de ce genre dans la cristallisation du fluorure de sodium, ainsi que dans celle des sulfates de soude et de potasse.

Henri Rose a donné des exemples fort curieux d'effets de cette nature dans des circonstances telles qu'on peut les reproduire à volonté : il a montré que lors de la cristallisation de l'acide arsénieux, dans certaines conditions, il y avait une vive émission de lumière (1). Si l'on prend 2 parties d'acide arsénieux vitreux, 45 d'acide chlorhydrique ordinaire et 15 d'eau, que l'on porte le tout à l'ébullition dans un ballon pendant dix à quinze minutes et qu'on laisse refroidir la dissolution aussi lentement que possible en diminuant graduellement la flamme du gaz qui sert à l'échauffer, si le ballon est placé dans l'obscurité, la cristallisation est accompagnée d'une vive lumière et la formation de chaque petit cristal est marquée par une étincelle. Si l'on agite le vase, un grand nombre de petits cristaux se forment tout à coup, et en même temps il se produit beaucoup d'étincelles. Ce phénomène dure pendant tout le temps qu'il y a des cristaux à déposer, et quelquefois la dissolution refroidie est lumineuse le second jour après l'expérience.

Quand les cristaux ont été déposés, si on les retire, qu'on les sèche sur du papier, en les pressant ou en les frottant, ils deviennent phosphorescents. C'est un exemple d'effets de phosphorescences par actions mécaniques que l'on doit ajouter à ceux qui ont été cités plus haut, à moins que dans ce cas il ne se produise un effet lumineux par clivage comme avec le nitrate d'urane.

D'autres acides que l'acide chlorhydrique peuvent produire également le même phénomène, mais en proportion de la quantité de matière dissoute; les acides acétique et nitrique ainsi que l'acide sulfurique, qui ne dissolvent qu'une très-petite quantité d'acide arsénieux, ne donnent que de très-faibles apparences lumineuses; l'acide chlorhydrique, au contraire, dissolvant une assez forte proportion de ce corps se trouve dans les conditions les plus convenables pour présenter ces effets. En traitant une certaine masse d'acide arsénieux transparent avec de l'eau régale ne renfermant pas un excès d'acide chlorhydrique et en quantité suffisante pour ne pas le dissoudre complètement et le transformer en acide arsénique, on observe encore une forte émission de lumière.

En examinant les cristaux déposés, H. Rose a reconnu qu'ils constituaient de l'acide arsénieux opaque, au lieu d'être à l'état vitreux comme

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 2^e série, t. 61, p. 288 (1836).

celui qui avait été dissous. On sait en effet que l'acide arsénieux affecte deux états physiques différents : originairement par la fusion, il est transparent, puis il devient peu à peu opaque. A ces deux états correspondent des densités différentes et des solubilités diverses dans l'eau. Ce serait donc à un changement d'état moléculaire produit lors de la cristallisation que serait dû la production de lumière. Pour vérifier d'une autre manière cette explication, H. Rose a répété la même expérience avec l'acide arsénieux opaque, et il n'a obtenu aucun effet, si ce n'est dans des circonstances où celui-ci contenait encore de l'acide à l'état vitreux.

On a dit plus haut que des effets analogues avaient été observés par Berzélius lors de la cristallisation du sulfate de potasse; mais ces effets avaient été remarqués accidentellement sans qu'on ait pu les reproduire avec certitude; H. Rose a indiqué les conditions nécessaires pour les observer à volonté (1). En opérant avec le sulfate de potasse pur, récemment fondu ou cristallisé, et en le dissolvant dans l'eau, on n'obtient aucun effet de lumière par cristallisation. Mais si l'on fond dans un creuset de platine un mélange composé d'un équivalent de sulfate de potasse et d'un équivalent de sulfate de soude, on a une masse vitreuse qui en se refroidissant n'offre aucune trace de cristallisation. Cette masse étant dissoute dans l'eau bouillante, et la liqueur filtrée aussi rapidement que possible, la dissolution abandonnée à un refroidissement lent donne dans l'obscurité les mêmes apparences que la dissolution d'acide arsénieux vitreux : la formation de chaque petit cristal est accompagnée d'une étincelle.

Les cristaux que l'on obtient ainsi étant dissous de nouveau ne présentent plus aucun effet lumineux. Ces cristaux, qui se sont formés avec production de lumière, étant retirés de la dissolution, deviennent encore phosphorescents quand on les frotte ou même quand on les presse un peu fortement. Au bout de quelques heures, ils ne présentent plus de phosphorescence à la friction. Les cristaux d'acide arsénieux qui se sont déposés d'une solution chaude d'acide arsénieux vitreux conservent plus longtemps la propriété d'être lumineux par friction que les cristaux de sulfate.

Pour observer ces effets il faut que la masse vienne d'être récemment fondue; sans cela, il n'y a aucun effet lumineux. Du reste dans les expériences où l'on n'aperçoit pas de lumière, le sel déposé présente un

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 3, p. 251 (1841).

autre aspect que lorsqu'il y a phosphorescence pendant la cristallisation ; dans ce dernier cas, on n'observe pas de sulfate de soude hydraté mélangé au sulfate de potasse.

H. Rose a reconnu que les cristaux qui sont déposés avec phosphorescence ne sont pas formés de sulfate de potasse pur, et qu'ils renferment une notable proportion de sulfate de soude à l'état anhydre : c'est donc un véritable sel double. Quand il ne se dépose que du sulfate de potasse pur, on n'obtient aucun effet lumineux. Ainsi le phénomène de phosphorescence paraît tenir dans ce cas à ce qu'un sulfate double de potasse et de soude, et non pas de sulfate de potasse pur, à l'état vitreux après la fusion, se dissout en conservant le même état et passe à l'état cristallisé au moment seul où il se sépare de la liqueur. H. Rose pense que le sulfate de soude dans ce cas passerait à une modification isomère dans laquelle il serait isomorphe avec le sulfate de potasse, ce qui n'a point lieu ordinairement quand il est anhydre. La phosphorescence proviendrait donc, comme pour l'acide arsénieux, d'un changement dans l'état physique, c'est-à-dire du passage d'un état à un autre état isomérique.

H. Rose a constaté que le sulfate double de potasse et de soude pouvait se produire dans d'autres circonstances ; ainsi en fondant ensemble du sulfate de potasse et du chlorure de sodium, on a une masse qui donne plus régulièrement une lumière phosphorescente par cristallisation. On atteint le même but en fondant ensemble du sulfate de potasse et du carbonate de soude, ou bien des équivalents égaux de chromate neutre de potasse et de sulfate de soude anhydre.

Les sels dans lesquels l'acide sulfurique est remplacé par les acides isomorphes, l'acide chromique et l'acide sélénique, conduisent à des résultats du même genre : ainsi on obtient encore une émission lumineuse très-vive au moment de la cristallisation après avoir dissous dans l'eau bouillante jusqu'à saturation du bichromate de potasse et du carbonate de soude, ou du séléniate de potasse et du sulfate de soude, à équivalents égaux.

LIVRE III.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR LA CHALEUR.

CHAPITRE PREMIER.

Phosphorescence par l'action de la chaleur.

§ 1. *Phénomènes généraux. — Substances impressionnables diverses.*

Quand on élève la température de certaines substances, elles commencent à émettre de la lumière dans l'obscurité à une température bien inférieure à la température rouge, où tous les corps deviennent lumineux par incandescence ; quelques-uns, comme certains diamants ainsi que des spath fluors colorés, présentent même une émission de lumière à une température qui n'atteint pas 100° ; on dit alors que ces substances sont phosphorescentes par l'action de la chaleur.

On a vu dans le livre I^{er} quels ont été les résultats principaux des recherches faites sur ce sujet ; il est donc inutile de revenir sur l'histoire de la question ; il faut examiner comment les effets lumineux se manifestent dans les différentes circonstances des expériences.

Pour observer la phosphorescence par élévation de température, particulièrement dans les corps qui ne sont doués qu'à un faible degré de cette propriété, il faut se placer dans une obscurité profonde et de manière à déterminer la température à laquelle on opère. On peut se servir d'un canon de pistolet fermé à la culasse par une vis ; le canon est maintenu un peu obliquement par un support et la culasse est placée dans un petit fourneau dont on modère le feu ; quelquefois, on l'échauffe à l'aide d'un bec de gaz ou encore en plongeant la culasse dans un bain d'alliage, dans de l'huile ou dans un milieu dont on connaît

la température. A la bouche du canon de pistolet se trouve une planche en bois percée d'une ouverture au travers de laquelle passe l'extrémité du canon; cette planche est destinée à garantir l'observateur de la lumière du foyer et à ne lui laisser parvenir que celle qui est émise dans l'intérieur du canon en fer. On projette alors les matières à essayer dans le canon; on place une petite lame de verre sur l'ouverture pour empêcher, lors de la décrépitation, les fragments placés dans l'intérieur d'atteindre l'œil de l'observateur, et on examine les effets produits. Il est nécessaire que l'observateur reste longtemps dans l'obscurité avant d'expérimenter, afin de rendre sa rétine plus impressionnable aux rayons lumineux.

Quelquefois une disposition plus simple suffit pour les observations, surtout quand on n'opère pas dans des bains à température fixe : on se place dans une chambre obscure, et l'on se sert d'un creuset épais en platine ou en argent, que l'on chauffe avec un bec de gaz, à une température un peu inférieure au rouge, en l'inclinant légèrement; on projette alors dans ce creuset la substance sur laquelle on opère après l'avoir réduite en fragments; on éteint le bec de gaz, et l'on examine les effets produits. Avec cette dernière disposition, la température du creuset baisse rapidement et l'on n'a pas des effets aussi réguliers qu'avec la disposition précédente. On peut néanmoins, à l'aide d'écrans, opérer en chauffant continuellement le fond du creuset.

Tous les corps phosphorescents par la chaleur manifestent leur propriété quand on les projette en poudre ou en fragments dans le creuset ou dans le tube de fer chauffé. En général la phosphorescence est plus vive mais de plus courte durée quand la matière est en poudre ou en petits fragments que lorsqu'elle est en plus grande masse; on s'en rend compte aisément en remarquant que l'élévation de la température est bien plus rapide dans le premier cas que dans le second; en effet, le changement moléculaire qui est cause de l'émission de lumière ne peut donner lieu qu'à une même somme d'effet, c'est-à-dire qu'à une même somme de lumière; si donc l'émission a lieu pendant un temps de courte durée, l'intensité lumineuse sera plus grande. On voit, d'après le même motif, que des corps qui sont faiblement lumineux par phosphorescence ne paraissent sensiblement que lorsqu'ils sont en petits fragments ou en poudre et qu'ils sont projetés sur un support assez fortement chauffé.

Parmi les corps phosphorescents par la chaleur, le diamant et la chaux fluatée occupent le premier rang. Le diamant, à cause de son prix élevé,

n'a pas été soumis à des expériences aussi nombreuses que le spath fluor. Tous les diamants ne sont pas lumineux par élévation de température ; mais il faut remarquer qu'un certain nombre d'entre eux ont déjà subi une calcination qui leur donne parfois plus de limpidité, mais qui leur a fait perdre leur propriété de phosphorescence par la chaleur ; il est donc nécessaire d'opérer avec les diamants qui n'ont pas été soumis à l'action calorifique par les lapidaires.

Le spath fluor présente lors de sa phosphorescence un grand nombre de nuances et quelquefois une grande vivacité de lumière. Les variétés colorées de spath deviennent lumineuses soit lorsqu'on les projette sur du mercure bouillant, soit dans l'eau bouillante, soit sur une pelle de fer ou de cuivre chauffée au-dessous du rouge. Il existe une variété appelée chlorophane qui peut être phosphorescente à 25 ou 30°.

Les cristaux incolores et très-limpides ne sont pas en général lumineux, ou quand ils le sont, c'est à un très-faible degré ; cependant, j'ai eu des échantillons de chaux fluatée blanche et limpide qui étaient assez fortement lumineux par élévation de température ; il n'y a donc pas de règle générale à cet égard. Les fragments colorés en violet, en bleu, en vert, en jaune sont au contraire très-phosphorescents.

Si l'on place de la chaux fluatée violette dans un des appareils décrits plus haut, elle commence en général à émettre une lumière bleuâtre, qui tourne au rose puis au violet, au bleu et au bleu foncé, et la phosphorescence s'éteint ; à cet instant, les fragments sont décolorés. Dans des essais que j'ai faits j'ai trouvé que la fluorine jaune avait présenté une émission de lumière violacée claire, qui a disparu peu à peu. La chaux fluatée verte émet souvent une nuance verte olive qui passe par l'orangé, soit aux nuances blanchâtres violacées, soit aux nuances bleues. Ainsi les effets lumineux sont modifiés d'une variété à une autre, et il n'y a aucun rapport entre la couleur de la lumière émise et la couleur propre de ces substances ; en outre, toutes les variétés colorées qui ont été suffisamment chauffées, et qui ont cessé de luire, sont devenues incolores et ont perdu leur propriété de phosphorescence ; quand on les réchauffe de nouveau, elles ne présentent plus ce phénomène. Bien qu'elles aient perdu leur couleur en même temps que la faculté d'être lumineuses, cela ne veut pas dire que la coloration soit la cause du phénomène de phosphorescence. Ces deux causes sont complètement indépendantes l'une de l'autre ; la couleur peut être perdue, et l'on verra plus loin que l'on peut rendre à la matière le pouvoir de deve-

nir de nouveau lumineuse. On doit donc conclure de ces effets que la chaleur agit en même temps et sur le corps pour changer l'état moléculaire qui produit le phénomène d'émission lumineuse, et sur la substance qui donne la couleur au corps ou bien sur la cause en vertu de laquelle cette coloration a lieu.

On voit d'après cela pour quel motif la phosphorescence par la chaleur ne peut être considérée comme un caractère spécifique d'une substance, puisque le même corps peut être phosphorescent ou être privé de cette propriété. Nous verrons qu'il peut en être autrement de la phosphorescence par insolation.

Un très-grand nombre de substances sont phosphorescentes par la chaleur, mais non pas au même degré que le spath fluor; parmi elles on distingue les composés à bases alcalines et terreuses, comme les composés de chaux et notamment la craie; ceux de strontiane, de baryte, les sels de soude et de potasse comme le sulfate de potasse, les chlorures de sodium et de mercure, l'acide arsénieux etc. Quant aux substances métalliques en général et aux métaux, ils ne le sont pas.

La leucophane (silicate de glucine et de chaux avec fluorure de sodium) est bien lumineuse et présente une lumière d'abord violacée, puis ensuite bleu clair et enfin rosée. La chaux phosphatée de l'Estramadure, en petits fragments, émet une lumière jaune clair qui disparaît assez promptement. La strontiane carbonatée donne une couleur orangée, et la baryte carbonatée est faiblement phosphorescente quand on projette des fragments sur le support ou dans le creuset chauffé à rouge naissant.

La dolomie, dans les mêmes conditions ou même simplement projetée sur une pelle de fer chauffée au-dessous du rouge naissant, produit une belle lumière orangée; avec la craie, la couleur est jaune. Je me borne à citer ces exemples, mais dans les mémoires de Wedgwood, de Dessaignes, de Placidus Heinrich, de Brewster, cités dans l'Historique page 23, on peut voir les résultats obtenus avec un grand nombre de minéraux.

Dans toutes les substances il se produit le même effet qu'avec le spath fluor, c'est-à-dire que si l'action de la chaleur a été suffisamment élevée et prolongée, la phosphorescence est détruite. On a vu dans le livre I^{er} que ce résultat avait été observé dès que l'on a étudié la phosphorescence avec quelque attention. On doit considérer ce phénomène comme provenant d'un changement moléculaire que la chaleur pro-

duit et qui une fois opéré dans les corps, à moins de circonstances spéciales, ne se rétablit pas de lui même.

Il y a ainsi une différence essentielle entre l'émission lumineuse produite de cette manière et celle que donne l'incandescence des corps, puisque tant que la température est supérieure à 500° et persiste, l'incandescence persiste, tandis que la phosphorescence est essentiellement passagère, et quand le changement moléculaire est opéré dans le corps, la température a beau être la même, l'émission lumineuse n'a plus lieu. Il paraît même qu'il faut que la température atteigne un certain degré dans chaque corps pour que la phosphorescence soit détruite tout à fait. On a vu livre I^{er}, page 28, que Canton avait observé qu'au bout de quelques jours le sulfure de calcium échauffé à 100° n'émettait plus de lumière, mais que chauffé plus haut il devenait lumineux pour s'éteindre ensuite. Il est possible que pour les minéraux il en soit demême, et que si on les maintenait à une température de 100 ou 200°, ils aient cessé de luire entre ces limites, mais qu'au delà ils puissent encore émettre de la lumière. En général pour les différents minéraux, c'est vers le rouge naissant que tout effet de phosphorescence est détruit quand l'élévation de température a une durée suffisante.

On voit, d'après ce qui précède, qu'il ne peut y avoir aucun rapport entre la longueur d'onde des rayons lumineux émis et la température communiquée au corps, comme on en observe dans l'incandescence; cela ressort des résultats cités plus haut à propos du spath fluor, puisqu'il n'y a aucun rapport de réfrangibilité dans la succession des couleurs des lumières émises, et que ces couleurs peuvent être émises par l'action de températures bien différentes.

Beaucoup de corps combustibles et de composés organiques sont phosphorescents par l'action de la chaleur; on peut citer entre autres la houille, la tourbe, la plombagine, le jayet, le soufre, et parmi les substances végétales les fécules, le papier, etc.; parmi les substances animales les os, les dents, les coquilles, le corail, etc.; la température cependant ne doit pas être assez élevée pour carboniser ces substances. Parmi les liquides on peut citer les huiles essentielles comme l'essence de térébenthine, l'essence de citron, l'huile de pétrole, qui deviennent phosphorescentes à la température de l'ébullition; mais en général les liquides dont on peut élever la température jusqu'à l'ébullition sans les décomposer, comme l'eau, l'alcool, les acides, ne manifestent aucune émission lumineuse. Je mentionnerai encore le sulfate

de quinine, qui chauffé à une douce chaleur devient lumineux (

Il est possible qu'avec les premiers corps un effet du même genre que celui qui se produit dans les minéraux donne lieu à l'émission lumineuse; mais dans le cas du soufre, des huiles essentielles, la combustion lente de ces corps ou bien certaines réactions chimiques n'interviennent-elles pas?

Si l'on examine ce qui se passe avec le soufre, on reconnaît que ce corps peut produire de la lumière dans diverses conditions; lorsqu'une combustion a lieu à une haute température, la lumière émise est peu plus blanche que vers 500°; mais si l'on projette dans l'obscur du soufre en poudre sur une pelle de fer chauffée au-dessous du rouge et à une température suffisante seulement pour le volatiliser, on voit une lumière faible et fugitive qui accompagne la volatilisation de la matière. En plaçant un corps froid au-dessus du support échauffé, on recueille du soufre sublimé. Cette lueur provient-elle d'une combustion lente ou bien d'un mouvement moléculaire? C'est ce qu'on n'a pas établi, car on n'a pas répété la même expérience hors du contact de l'oxygène et sans prouver qu'il ne se produisait pas d'acide sulfureux.

En général un corps combustible placé sur une plaque de cuivre chauffé au point de ne pas entrer en ignition, commence, avant de brûler, par émettre une lueur très-faible, qui a toutes les apparences d'une lueur phosphorique; on voit cet effet se produire non-seulement dans l'air, mais encore dans le vide ou dans un milieu rempli de gaz ac carbonique; l'antimoine, le graphite, l'ambre, le maïs répandent dans ces diverses conditions une faible lueur.

On a observé également que l'huile d'olive placée dans un tube chauffé suffisamment pour brûler sans mèche s'éteint aussitôt qu'elle est plongée dans de l'acide carbonique, mais continue à émettre une faible lueur.

Ainsi, bien que des composés organiques présentent des phénomènes de phosphorescence par l'action de la chaleur, cependant certains faits observés pourraient se rapporter à des actions chimiques du genre de celle qui a lieu lors de la combustion lente du phosphore.

On a vu que la phosphorescence des minéraux par l'action de la chaleur était un phénomène essentiellement temporaire, dû à un changement moléculaire produit dans la substance, et que quand le corps a

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 2^e série, t. 19, p. 111.

subi l'action d'une température suffisamment élevée et prolongée, il **avait** perdu cette propriété. Est-ce une espèce de clivage moléculaire qui **produit** cette action? La chaleur spécifique, la densité sont-elles **changées**? Ce sont des questions qui n'ont pas été résolues. Du reste il **est possible** que les changements opérés soient assez faibles pour ne **pouvoir pas** être mesurés par les procédés ordinaires d'**expérimentation** (1). Mais si une élévation suffisante de température détruit le **pouvoir phosphorescent** d'un corps pour la chaleur, ce corps peut néanmoins devenir lumineux par frottement et par l'action du rayonnement lumineux comme si la calcination n'avait pas eu lieu.

Une élévation de température suffisamment prolongée détruisant toute phosphorescence par la chaleur, on peut concevoir que les substances minérales d'origine ignée n'en sont pas douées, et que l'on doit plutôt retrouver cette propriété dans les composés d'origine aqueuse. Si cette supposition est fondée, on doit en conclure que le diamant, qui est un minéral phosphorescent par élévation de température, doit avoir une origine aqueuse et non pas une origine ignée.

Les exemples suivants viennent à l'appui de cette hypothèse : on prend du spath fluor bien transparent et qui, chauffé préalablement, a perdu toute phosphorescence par élévation de température, et on le fait dissoudre dans de l'acide chlorhydrique; en laissant refroidir très-lentement le liquide, on obtient des cristaux de spath fluor qui sont doués d'une légère phosphorescence. Ainsi la matière qui en était privée redevient douée de cette propriété quand elle a été préalablement dissoute. Le fait a été observé par M. Pearseal (2), et je l'ai vérifié même en mettant dans la dissolution $\frac{1}{100}$ de protochlorure ou de perchlorure de fer. L'introduction de ces substances n'a produit aucun effet appréciable.

D'après Dessaignes, certains sels alcalins et terreux comme le chlorure de sodium et le sulfate de potasse, qui conservent leur acide sous l'action de la chaleur, perdent cependant leur phosphorescence par l'effet de la calcination; dans ce cas ils abandonnent une partie de leur eau de combinaison ou de l'eau d'interposition; si on les expose pen-

(1) M. Regnault, dans son second mémoire sur les chaleurs spécifiques (*Ann. de chimie et de phys.*, 3^e série, t. 1), a déterminé la chaleur spécifique du spath fluor avant et après la calcination, et a trouvé dans ce dernier cas une valeur un peu plus forte. Mais une seule expérience a été faite et il serait nécessaire de varier les comparaisons de ce genre.

(2) *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 49, p. 358 (1832).

dant quelque temps à l'air pour qu'ils reprennent l'eau que la chaleur leur a enlevée, ils recouvrent la propriété lumineuse qu'ils avaient perdue.

Th. de Saussure (1) a pensé que la présence de sels étrangers pouvait communiquer la phosphorescence aux substances qui les renfermaient. Il a remarqué en effet que toutes les pierres calcaires douées de la phosphorescence par la chaleur, traitées convenablement par l'eau distillée, donnent des signes non équivoques de la présence des acides sulfuriques et chlorhydrique. Ce dernier acide lui a paru être une des causes de la phosphorescence de ces calcaires. Il a reconnu encore que la combinaison de la chaux avec l'acide chlorhydrique n'émet jamais de lumière sur un fer rouge quand les deux substances sont parfaitement pures. Si l'on fait dissoudre du spath d'Islande dans de l'acide chlorhydrique, la dissolution filtrée et évaporée donne un résidu non phosphorescent. Il en est de même de ce résidu quand il est porté au rouge jusqu'à vitrification. Si l'on projette dans ce résidu un fragment de carbonate de chaux, il y a effervescence sans lumière émise ; mais si le carbonate est chargé de protoxyde de fer, on aperçoit à la surface du mélange une très-belle phosphorescence. De même, le résidu de l'évaporation de la dissolution chlorhydrique faite avec un excès de carbonate chargé de protoxyde de fer donne toujours une très-belle phosphorescence à l'aide de la chaleur.

En étudiant la phosphorescence du spath fluor, il a émis l'opinion que la phosphorescence pourrait bien tenir à la présence du fer, et que les échantillons divers de cette matière fussent d'autant plus phosphorescents qu'ils contiendraient davantage de fer ou de manganèse à l'état de protoxyde. Le spath en effet en s'échauffant perd sa couleur en même temps que sa phosphorescence. Il est possible que la présence de matières étrangères influe sur la phosphorescence comme sur la coloration des corps, et, ainsi qu'on l'a déjà dit plus haut, sans qu'il y ait une dépendance nécessaire entre ces deux ordres d'effets, car la coloration ne paraît pas la cause unique du phénomène. D'un autre côté, les corps qui sont privés de phosphorescence peuvent l'acquérir de nouveau à l'aide d'actions physiques, comme on le verra plus loin, et en outre des spath fluor non colorés peuvent être fortement phosphorescents, bien que ce soit rare. Du reste, si la présence d'oxydes métalliques comme les oxy-

(1) Beoquerel, *Traité d'électricité*, t. 6, p. 269.

de fer, de manganèse, de chrome, donnent aux minéraux des couleurs plus ou moins vives, toutes les circonstances de la coloration de ces minéraux ne sont pas encore bien connues, et il est possible que dans certains cas cette coloration soit due à un arrangement moléculaire analogue à celui qui est nécessaire pour produire la phosphorescence.

On doit encore observer que dans les corps phosphorescents par la chaleur l'intensité de la lumière émise doit dépendre de la rapidité avec laquelle l'échauffement a lieu, et que quand il s'agit de masses minérales un peu fortes, elles doivent présenter des lueurs moins vives mais plus durables que les fragments de petite dimension, car une même masse ne peut émettre qu'une même quantité de lumière, mais seulement plus ou moins rapidement.

Quant à la composition de la lumière produite lors de la phosphorescence par la chaleur, elle n'a pas été l'objet d'une étude analogue à celle qui a été faite avec la lumière émise par phosphorescence après l'insolation et dont on parlera plus tard; en général, les lueurs phosphorescentes sont peu vives, et on n'aurait pu les observer par réfraction au travers d'un prisme en verre que dans des cas restreints. On peut seulement remarquer que lorsqu'on produit la phosphorescence par élévation de température, avec la plupart des échantillons de spath fluor, ou avec la leucophane, ce sont ordinairement les rayons les plus réfrangibles qui sont émis les derniers; ainsi les couleurs qui sont aperçues les premières sont les couleurs vertes et orangées, et celles qui sont observées à la fin de l'expérience sont bleues ou violacées; mais il n'y a aucune règle fixe à cet égard.

§ 2. Influence de la lumière sur le pouvoir de phosphorescence par l'action de la chaleur. Action temporaire; action permanente.

On a vu précédemment que les corps phosphorescents par la chaleur pouvaient perdre cette propriété après avoir été soumis à une élévation de température suffisamment élevée et prolongée; il faut examiner s'ils peuvent ensuite l'acquiescir de nouveau.

Les effets observés avec les corps que l'on appelle phosphores artificiels mettent en évidence l'influence exercée par l'agent lumineux, bien que cette influence soit en partie temporaire, et montrent comment des effets physiques peuvent modifier ces corps et les rendre phosphorescents par l'action de la chaleur. Si l'on se sert d'un des sulfures de

cale de sulfate de cuivre; la première dissolution ne laissait passer que la partie la moins réfrangible du spectre solaire; la deuxième le bleu et le violet. J'ai mis sous ces cloches des échantillons de leucophane et de chlorophane, les uns calcinés, et par conséquent non phosphorescents par la chaleur, les autres ayant été préalablement soumis à l'action des décharges électriques qui leur avait donné, comme on le verra plus loin, la propriété de phosphorescence par la chaleur. La leucophane inactive exposée aux rayons solaires sous l'une et l'autre cloche a acquis la propriété d'être lumineuse par élévation de température avec la teinte violacée bleuâtre indiquée plus haut, mais sous la cloche bleue l'action a été un peu plus vive. Une exposition de plusieurs jours n'a pas augmenté l'effet. Il s'est produit dans ce cas une modification permanente, car cette matière, maintenue dans l'obscurité après l'action préalable de la lumière, a présenté le même effet.

Il est probable d'après cela que la durée de l'insolation au delà d'une certaine limite n'augmente pas l'action exercée, mais que celle-ci peut devenir plus forte quand l'intensité de l'action excitatrice devient plus grande, car en soumettant ces mêmes échantillons à l'action des rayons solaires concentrés au foyer d'une lentille ou à l'influence des décharges électriques excitées très-près de la surface, l'effet produit est plus énergique.

Avec la chlorophane on observe les mêmes effets sous la cloche bleue, mais aucune action sous la cloche orangée. On verra dans le livre VI que les rayons les moins réfrangibles qui peuvent rendre la leucophane phosphorescente sont à peu près inactifs sur le fluorure de calcium.

Quant aux divers échantillons de leucophane et de chlorophane qui avaient reçu préalablement une modification permanente au moyen des décharges électriques, et dont les uns étaient restés pendant un mois à l'obscurité et les autres exposés pendant le même temps à l'action des rayons solaires sous les cloches, ils ont présenté sensiblement la même action par élévation de température. Ainsi la modification permanente qu'ils avaient reçue n'a été détruite ni changée pendant ce temps, soit à l'obscurité, soit sous l'action des rayons solaires orangés ou bleus, autant du moins qu'il a été possible d'en juger, car on ne peut pas estimer la quantité de lumière émise par les différents échantillons.

On doit rapporter à la même cause, à une action produite par la lumière, la modification permanente que Dessaignes et Placidus Heinrich ont observée (voir page 24) comme étant communiquée à quelques corps

els que le spath fluor, le diamant et la chaux phosphatée, au moyen de **décharges** électriques excitées très-près de ces substances.

Pour soumettre ces corps à l'action des décharges électriques, on les **place** sur la tablette d'un excitateur universel quand ils sont en fragments, **ou** dans des tubes quand ils sont en poussière, de manière à ce que les **extrémités** des conducteurs soient à deux ou trois centimètres de distance. On fait ensuite passer de l'une à l'autre tige une ou plusieurs décharges **d'une** batterie électrique. On trouve alors que non-seulement les corps **dont** on vient de parler sont phosphorescents après le passage de la **décharge**, et ainsi qu'on le verra plus tard, mais encore qu'en élevant la **température** de ces minéraux ils sont devenus phosphorescents par la **chaleur** même si avant d'être soumis à l'action de la décharge ils avaient été calcinés pendant longtemps de façon à être privés de tout effet de **phosphorescence** par élévation de température. La lumière électrique **agit** donc comme la lumière solaire, mais avec une plus grande énergie en raison de sa grande intensité, et elle est capable de faire acquérir la **phosphorescence** à des corps qui ne la possédaient pas auparavant ; il **n'est** pas même besoin, immédiatement après l'action de la décharge, d'**élever** la température du spath fluor ou du diamant exposé à l'action de **l'électricité** pour observer cet effet ; l'élévation de température peut n'**avoir** lieu qu'au bout de quelque temps et même plusieurs mois après.

M. Pearseal (1), qui s'est occupé de cette question, a observé un fait **curieux** : quelquefois les minéraux soumis à l'action de la décharge prennent une teinte bleuâtre ou violacée, surtout si avant leur calcination ces **matières** avaient eu une certaine couleur qui avait été détruite par la **première** calcination. La lumière de l'étincelle électrique en outre du **pouvoir** de phosphorescence rendrait donc à des minéraux décolorés **une** certaine coloration, mais qui ne serait pas en général celle qu'ils **avaient** avant de devenir incolores.

Ces expériences ont été répétées depuis, et je les ai même variées dans **ces** derniers temps en employant pour donner des décharges entre les **tiges** de l'excitateur un appareil d'induction de Ruhmkorf dans le circuit **extérieur** duquel était placé une forte jarre. A la chlorophane, au diamant, à la chaux phosphatée, j'ai ajouté la leucophane qui est également **impressionnable** à la lumière solaire, comme on l'a vu plus haut, et qui ne **prend** aucune coloration manifeste. L'étincelle électrique n'agit donc

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 2^e série, t. 49, p. 337 et 346 (1832).

que par sa lumière, mais son action est plus vive que celle des rayons solaires, en raison de sa grande intensité lumineuse et de sa proximité des corps.

On savait que la lumière pouvait produire des effets analogues sur des verres, et M. Faraday a vu, par exemple, que le verre teint en violet par le manganèse se colore davantage quand il est exposé aux rayons solaires (1). M. Pérouze a observé également que du verre préparé avec des sulfates de soude et contenant probablement du fer, se colore en jaune à la lumière solaire et se décolore par la chaleur. Il pense que l'action est due à la présence de composés à base de soufre, car avec du verre préparé à l'aide de carbonates alcalins exempts de sulfates, on n'observe aucune action semblable (2). Nous reviendrons sur ce sujet dans la seconde partie de cet ouvrage en traitant des actions chimiques produites par la lumière.

On a dit plus haut que la coloration naturelle de certaines substances comme le diamant et le spath fluor paraissaient indépendantes du phénomène de phosphorescence. On observe bien en effet que les spaths fluors colorés sont plus phosphorescents par élévation de température que ceux qui sont incolores, mais j'en ai eu à ma disposition qui étaient incolores et très-limpides, dont les uns n'étaient pas phosphorescents et d'autres, surtout un, qui l'étaient presque aussi vivement que la chlorophane. D'un autre côté, tous les spaths fluors électrisés deviennent phosphorescents, mais tous ne se colorent pas, comme M. Pearseal l'a observé, quand l'étincelle passe très-près de leur surface. Les spaths primitivement colorés, surtout ceux de teinte violette, prennent une légère coloration violacée par l'action des décharges, d'autres, blancs, n'en prennent pas. J'ai vu un morceau de spath fluor blanc très-limpide se colorer légèrement en violet après deux heures de décharges électriques; comme il en passait au moins deux par seconde, il a dû se produire environ 7200 décharges par heure. Après avoir été calciné deux fois, de nouvelles décharges ont à peine changé sa couleur, et il est resté blanc, mais chaque fois il était très-phosphorescent par la chaleur, et cela d'une manière permanente. Des diamants ont présenté aussi parfois une teinte bleue très-pâle, mais la leucophane n'a pas changé de couleur. Ainsi la cause qui donne lieu à la coloration des minéraux peut être chimique ou physique, et elle peut être produite par la lumière.

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 2^e série, t. 25, p. 99.

(2) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 64 (séance du 14 janvier 1867).

mais elle est indépendante du phénomène de phosphorescence par élévation de température.

Quand on opère comme on vient de le dire à l'aide de décharges électriques se succédant à des intervalles de temps très-courts, on peut constater, comme avec la lumière solaire, qu'au bout de peu de temps l'effet produit est à son maximum, et en continuant l'excitation on n'augmente plus l'action particulière permanente communiquée au corps et en vertu de laquelle il donne de la lumière par élévation de température. Ainsi cette action est donnée aux corps par une intensité lumineuse déterminée agissant pendant un temps, en général assez court, après lequel l'effet n'augmente plus, et en outre cette action est en rapport avec l'intensité de la lumière excitatrice. On reviendra plus tard sur ce sujet dans le livre VI.

Il résulte encore de cette étude que le phénomène de phosphorescence dépend bien de la nature du corps impressionnable, mais que l'intensité comme la composition de la lumière émise tient à son arrangement moléculaire sans que l'on puisse indiquer les motifs des différences que l'on observe; en outre, la substance peut présenter cette action ou en être tout à fait privée, et une fois inactive on peut lui donner le pouvoir d'être de nouveau lumineuse par élévation de température.

§ 3. Combustion lente. Phosphore.

On a déjà parlé du phosphore dans le livre I^{er}, et l'on a vu que la lueur qu'il émet à la température ordinaire, dans l'air, avait vivement attiré l'attention, et de là la dénomination sous laquelle il est connu. La lumière qu'il émet ainsi dans l'air, quand il est à l'obscurité, est due à une combustion lente, et comme elle exige l'action de la chaleur, on a rapproché ces phénomènes de ceux dont il est question dans ce livre. Quand on examine le phosphore à la lumière, il donne des vapeurs blanches d'acide hypophosphorique qui ont une odeur particulière, presque alliagée; ce sont elles qui sont lumineuses dans l'obscurité.

Les recherches faites par les chimistes qui se sont occupés de ce corps ont montré que l'oxygène était nécessaire pour la production du phénomène, et que hors de l'influence de ce gaz on n'observait pas d'effet de lumière, ceux qui avaient été obtenus dans différents milieux provenant de la présence d'une petite quantité d'oxygène. Mais pour que cette réaction puisse se produire, il faut des circonstances particulières

de température et de pression qui sont à signaler : Quand, à la température ordinaire, au-dessous de 27°,5 le phosphore se trouve dans le gaz oxygène, il ne luit pas et le gaz n'est pas absorbé, comme l'ont montré à la fin du siècle dernier Fourcroy et Vauquelin (1); mais au-dessus de cette température il commence à luire en même temps que la combinaison s'opère, et si la température s'élève, l'inflammation vive peut arriver. En abaissant la température au-dessous de 27°,5 le phosphore redevient obscur et inactif.

Si à une température inférieure à 27°, on vient à diminuer la pression du gaz oxygène, alors aussitôt la combustion lente a lieu. On explique ainsi pourquoi elle se produit dans l'air, la présence de l'azote dans l'atmosphère équivalant à une diminution de pression de l'oxygène des $\frac{1}{4}$ de sa valeur. Un autre gaz que l'azote mêlé à l'oxygène donne lieu au même effet.

Il est intéressant de signaler ce fait que la température nécessaire pour l'inflammation ou la combustion vive du phosphore est d'autant plus basse que la pression de l'oxygène est moindre; ainsi Van Marum a reconnu (2), que dans l'air raréfié sous la machine pneumatique, du phosphore placé sur du coton s'enflamme spontanément quand la pression n'est plus que de quelques centimètres de mercure.

Si la combustion lente du phosphore donne de la lumière, on ne doit pas en conclure que toute action chimique analogue doive en donner; il se produit au moment de la réaction chimique un phénomène tout spécial dépendant de la nature de la matière, de même que dans la cristallisation de tous les sels il ne se manifeste pas toujours de la lumière, et ce n'est, comme on l'a vu, que dans des cas particuliers comme avec l'acide arsénieux, les doubles sulfates de potasse et de soude etc., que des effets lumineux peuvent se produire. Cependant, dans des corps organisés, ainsi qu'on le verra dans le livre VII, des effets du même ordre peuvent avoir lieu, alors que des composés carbonés s'unissent à l'oxygène à basse température.

Dans le second paragraphe, on a dit que dans certaines circonstances le soufre, ainsi que des huiles essentielles avaient manifesté des effets de lumière; il est possible que dans ces conditions ces effets soient dus à des actions chimiques s'exerçant à une température inférieure à celle où les combustions vives se manifestent; mais ces effets n'ont pas encore

(1) *Ann. de chim.*, t. XXI, p. 189; 1796.

(2) *Id.*, t. XXI, p. 158.

été suffisamment étudiés pour que l'on soit fixé sur la cause de la lumière qui se produit alors.

On doit peut-être rapporter à des effets de combustion lente du phosphore les apparences lumineuses qui, sous le nom de feux follets, ont apparu dans des conditions où de l'hydrogène phosphoré avait pu prendre naissance, comme près des cimetières.

Quand on soumet à l'analyse prismatique la lumière émise dans la combustion lente du phosphore, l'observation de l'image prismatique est très-peu distincte et ne présente aucun caractère bien tranché; on ne voit qu'une traînée lumineuse sans apparence de parties noires ou brillantes, c'est-à-dire sans raies. Lors de la combustion vive on observe des raies brillantes dont il sera question dans le livre 4.

§ 4. Incandescence phosphorique.

On peut rapprocher des phénomènes de phosphorescence par élévation de température ceux qui se manifestent avec certaines substances, naturelles ou artificielles, qui étant chauffées à une température convenable dégagent tout à coup une grande quantité de chaleur et de lumière, effets qui sont accompagnés d'un changement remarquable dans les propriétés physiques des corps. Tel est le cas d'un certain nombre d'oxydes métalliques, comme l'oxyde de chrome, la zircon, l'acide titanique, l'acide tantalique, des acides du niobium, etc... Ce phénomène est différent du phénomène de phosphorescence par la chaleur, qui vient d'être étudié plus haut, et si dans la plupart des cas des effets calorifiques ont lieu dans des changements isomériques, comme lors de la transformation du soufre mou en soufre ordinaire et dans des cas semblables (1), et qu'une diminution subite de la capacité calorifique qui instantanément donne lieu à une certaine quantité de chaleur auparavant latente (2) paraisse rendre compte de l'incandescence subite de ces matières, cependant il est des cas où ce dégagement de chaleur n'est pas sensiblement appréciable. C'est pour ce motif que j'ai compris ces effets sous la dénomination d'effets d'incandescence phosphorique pour distinguer cette incandescence temporaire de celle qui se produit dans les conditions ordinaires.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. LV, p. 123; 1859.

(2) Regnault, *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. I, p. 188.

H. Rose (1) a cité à ce sujet les exemples présentés par la gadolinite et la samarskite (niobate de fer, d'urane et d'yttria). La gadolinite présente le phénomène d'incandescence d'une manière très-marquée quand on élève sa température à un degré convenable; l'élévation subite de la température est facile à manifester. Après l'action, la densité de la matière est devenue plus grande et la chaleur spécifique a diminué, comme cela résultait de l'hypothèse précédente. M. Rose a trouvé que la capacité calorifique, qui était 0,142 avant l'incandescence, était devenue 0,132; elle avait donc diminué de $\frac{7}{100}$ de sa valeur.

Avec la samarskite il se produit également un dégagement de lumière à un moment déterminé; mais il n'y a pas à cet instant de chaleur dégagée d'une manière notable. La chaleur spécifique de la matière diminue bien comme avec la substance précédente, mais moins, car avant l'action elle était 0,107 et elle est devenue 0,102, c'est-à-dire qu'elle a diminué de $\frac{5}{100}$; mais la densité au lieu de devenir plus grande a diminué de valeur. La matière s'est donc dilatée pendant l'émission lumineuse au lieu de se contracter. H. Rose pense, d'après cela, que l'incandescence de ce minéral parait plutôt analogue au dégagement de lumière qui a lieu lors de la transformation de l'acide arsénieux vitreux en acide arsénieux opaque, lequel se produit sans dégagement de chaleur et avec diminution de densité, au lieu d'être analogue à celle d'une émission lumineuse par élévation subite de température. C'est ce que des expériences ultérieures pourront décider.

On pourrait peut-être ranger dans cette classe de faits une observation de M. Brewster d'après laquelle l'anatase quand on l'échauffe graduellement présente tout à coup une émission de lumière d'une vive intensité et de peu de durée.

On voit donc que si lors de la cristallisation, comme on l'a rapporté précédemment, il peut se manifester tout à coup une émission de lumière indiquant un changement isomérique de certaines substances, des effets du même genre peuvent se produire à un moment donné par élévation de température, et qu'il est possible que ces effets ne soient pas toujours dus à une émission subite de chaleur qui élèverait le corps à l'incandescence.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 55, p. 125.

CHAPITRE II.

Incandescence, Irradiation.

§ 1. Effets généraux ; pyromètre employé dans l'étude de l'irradiation.

Lorsqu'on élève graduellement la température d'un corps, en même temps qu'il s'échauffe il rayonne de tous côtés de la chaleur; tant que la température n'atteint pas un certain degré, il reste obscur et agit seulement comme source calorifique. Mais il arrive une certaine limite à partir de laquelle ce corps agit comme source de lumière; l'intensité de la lumière qu'il émet alors est d'autant plus vive que sa température est plus élevée. On admet généralement que les corps commencent à devenir lumineux à partir de la même limite et que cette limite est voisine de 500° centigrades; ils donnent à cet instant une faible lumière de teinte rouge sombre bien connue. En élevant davantage la température, non-seulement l'intensité de la lumière augmente, mais encore cette lumière peut renfermer des rayons de plus en plus réfrangibles, de sorte qu'à une température qui ne dépasse pas beaucoup celle de la fusion de l'or, la lumière émise est sensiblement blanche, et donne des rayons compris entre les limites de réfrangibilité des raies obscures A et H qui terminent les deux extrémités visibles du spectre solaire.

Lorsque l'incandescence d'un corps solide opaque, tel que le platine ou la chaux, se produit, il faut examiner quels sont les effets lumineux qui se manifestent à mesure que la température s'élève et varie par degrés déterminés. Puisque ce corps incandescent émet à un instant donné des rayons de toute longueur d'onde, mais que les plus réfrangibles ne dépassent pas une certaine limite de réfrangibilité dépendant du degré de température, il faut donc examiner :

1° Si les différents corps commencent à émettre de la lumière par irradiation à la même température;

2° Comment augmente l'intensité de la lumière émise par un même corps à mesure que la température croît, non-seulement pour chaque rayon d'une réfrangibilité déterminée, mais encore pour la totalité des rayons émis;

3° Comment augmente la réfrangibilité des rayons les plus réfrangibles émis à une température déterminée à mesure que cette température s'élève.

Les questions relatives à l'intensité lumineuse peuvent être abordées facilement, surtout en ce qui concerne les rayons d'une même couleur car leur comparaison peut être faite à l'aide des appareils dont il sera question plus loin; mais celles qui sont relatives à la réfrangibilité n'ont pas été étudiées jusqu'ici d'une manière complète.

Avant de parler des résultats des observations faites sur ce sujet, est nécessaire d'indiquer quels sont les procédés pyrométriques dont on peut faire usage.

Dans des recherches sur l'irradiation (1), après avoir comparé les températures à l'aide de diverses méthodes, je me suis arrêté à l'emploi des courants thermo-électriques, car il est nécessaire de connaître à chaque instant, et cela très-rapidement, quelle est la température du corps incandescent sur lequel on opère; en outre, ce procédé a l'avantage de permettre d'étudier l'intensité lumineuse de la portion des métaux qui forment le couple thermo-électrique lui-même en même temps que l'on évalue l'intensité du courant électrique développé, lequel peut servir à faire connaître la température.

Les différentes conditions exigées pour un bon pyromètre thermo-électrique se trouvent remplies par un couple platine-palladium qui avait été proposé par mon père (2) en 1835; ce couple est formé par deux fils, l'un de platine, l'autre de palladium, de 2 mètres de longueur et de 0^{mm},8. 1 millimètre de diamètre environ, joints ensemble sans soudure par une de leurs extrémités en les pressant fortement sur 1 centimètre de longueur, et en les entourant, sur cette étendue, à l'aide d'un fil de platine d'un petit diamètre qui les tient serrés l'un contre l'autre.

Ce couple platine-palladium a une force électro-motrice peu différente d'un couple fer-platine pour une différence de température de 0° à 100°; l'intensité du courant électrique développé est donc assez forte. En outre, cette intensité croît avec la température d'une manière assez régulière, comme on le verra plus loin, et ces deux métaux ne s'altèrent pas par l'action de la chaleur quand le couple est placé dans un tube en porcelaine ou dans une moufle. Cette dernière propriété es

(1) *Ann. du Conservatoire imp. des Arts et métiers*, t. IV, p. 597; 1863.

(2) *Compte rendu de l'Académie des sciences*, t. I, p. 28. *Becquerel Traité d'électricité*, 7 volumes, t. IV, p. 1.

précieuse, car j'ai pu me servir d'un couple de ce genre pendant plusieurs années, sans qu'il ait été altéré. Le fil de palladium seul a diminué un peu de diamètre, par suite peut-être d'une légère altération superficielle; mais lorsque je l'ai placé dans la flamme d'un bec de gaz alimenté avec de l'oxygène ou de l'air, la fraction du fil de palladium placée dans la flamme est devenue rapidement cassante.

On place les fils dans deux tubes concentriques en porcelaine A B, *a b* (fig. 1), ces tubes entrant l'un dans l'autre, et le tube extérieur A B étant

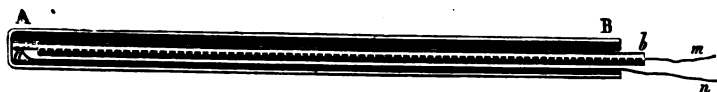


Fig. 1.

fermé en A; le fil de palladium *m* est dans l'axe du plus petit tube *a b*, et le fil de platine *n* entre les deux; la surface de jonction des deux fils est donc au fond du tube. Quant aux points de jonction de ces fils et des conducteurs du rhéomètre, ils sont maintenus constamment dans la glace fondante pendant la durée des observations, comme on l'indiquera plus loin dans la figure 2.

Pour mesurer l'intensité du courant, j'ai fait d'abord usage de la méthode par opposition ou par compensation dans un même circuit thermo-électrique, dont mon père a tiré un si grand parti pour la mesure des températures (1); mais la difficulté de faire varier la température entre des limites assez étendues pour ramener l'équilibre électrique dans le circuit m'a fait renoncer à ce mode d'expérimentation. J'ai préféré l'emploi d'un magnétomètre, formé par un fort barreau aimanté creux et mobile au milieu d'un cadre en cuivre de galvanomètre pour amortir les oscillations; ce barreau porte un miroir, et l'observateur placé à distance examine à l'aide d'une lunette l'image des divisions tracées sur une règle divisée fixée à la lunette. Ce procédé, comme on le sait, donne des déviations qui sont proportionnelles aux intensités des courants électriques; si, en outre, l'on a soin de prendre un circuit assez long pour que la résistance à la conductibilité des parties des fils de platine et de palladium portés à la température rouge ne représentent qu'une très-petite fraction de la résistance du circuit total, on peut négliger les variations qui proviennent de l'échauffement de ces fils, et

(1) *Mémoires de l'Académie des sciences de Paris*, t. XXXII; 1860.

les déviations observées donnent les forces électro-motrices comparées du couple thermo-électrique dans les différentes circonstances de température que l'on étudie. On pourrait également se servir d'une boussole des sinus; c'est même avec un simple multiplicateur que ce pyromètre peut rendre dans les arts de très-bons services.

Il est évident que si l'intensité du courant thermo-électrique développé dans le couple platine-palladium croissait suivant une loi simple et parfaitement régulière, ce pyromètre serait peut-être le plus facile à employer parmi ceux dont on peut se servir pour l'évaluation des hautes températures. Mais bien que l'intensité du courant augmente assez régulièrement avec la température, cependant la loi suivant laquelle il croît cet accroissement ne peut être exprimée d'une manière simple. Il faut le graduer par comparaison avec un thermomètre à air, ou bien le rapporter à des points fixes bien déterminés.

J'ai d'abord comparé la marche de ce pyromètre thermo-électrique platine-palladium avec celle de thermomètres étalons, dont les indications ont été rapportées à celles du thermomètre à air. Les points fixes 100° et $338^{\circ},50$ ont été obtenus dans la vapeur d'eau bouillante et dans le mercure bouillant, et même je dois dire que dans chaque série d'expériences j'avais soin de déterminer, à l'aide du magnétomètre, l'intensité du courant thermo-électrique correspondant à 100° , façon à rapporter toutes les indications de cet appareil à celle que donne le couple placé dans la vapeur d'eau bouillante à 76 centimètres de pression. Cette précaution est nécessaire, car le circuit du magnétomètre change de résistance extérieure avec la température ainsi qu'affecte l'intensité magnétique du barreau aimanté, de sorte que, suivant la température extérieure, à 100° la déviation du magnétomètre ne n'est pas toujours la même.

Une autre précaution doit être indiquée ici; comme les déviations du barreau aimanté ne doivent pas dépasser 3° ou 4° , on a soin de placer dans le circuit des bobines de résistance, de façon que dans le cours d'une même expérience ces déviations n'excèdent pas les limites des quantités que l'on peut observer directement avec la lunette du magnétomètre.

On reconnaît, d'après les résultats des expériences, que l'intensité du courant électrique augmente avec la température, mais plus rapidement que cette température elle-même, puisque le rapport R de l'intensité I du courant à la température T croît à mesure que T devien-

plus grand. Cependant entre 300° et 400° il y a un ralentissement dans la manière dont varie ce rapport. A température égale du couple, ce rapport n'est pas le même dans chaque expérience, car l'intensité magnétique du barreau, ainsi que la conductibilité du circuit peut changer ; mais il reste le même pendant une même série de déterminations. On a rapporté, du reste, tous les résultats à la déviation donnée à la température de l'eau bouillante à 0^m,760 de pression.

On reconnaît également que le rapport $\frac{R - R'}{T - T'}$ n'est point constant, et qu'il diminue depuis 0° jusqu'à 358°,50, de sorte qu'une formule empirique de la forme $I = AT + BT^2$, dans laquelle A et B sont deux coefficients constants, ne saurait lier la température T à l'intensité I du courant entre ces deux limites extrêmes des observations ; mais si la différence de température ne dépasse pas 50°, on peut prendre la formule précédente pour représenter les résultats, et les températures calculées ne diffèrent pas de $\frac{1}{2}$ degré des températures observées. Ce point est important à signaler, car on peut interpoler des valeurs entre les résultats des expériences, et l'on a ainsi des nombres qui ne diffèrent que fort peu de ceux que donneraient les observations. C'est ainsi qu'ont été obtenues les valeurs intermédiaires entre les nombres observés, dans les tables relatives au pyromètre thermo-électrique, et que l'on trouve l'intensité du courant électrique correspondant à une température donnée quand on connaît les intensités relatives à deux températures voisines de celle-ci.

Pour les températures inférieures à 0°, on a plongé le couple, convenablement entouré d'un tube de verre, dans une petite éprouvette contenant 20 ou 30 grammes de protoxyde d'azote liquide. Au moment où le protoxyde d'azote est entré en ébullition, la température est restée constante et a donné une déviation également constante au magnétomètre. A la suite de cette expérience, on a fait solidifier du mercure dans l'éprouvette, et l'on a attendu que le métal se liquéfîât ; on a eu une température fixe, et l'on a admis les deux nombres — 87,9 et — 38,5 trouvés par M. Regnault à l'aide du thermomètre à air comme indiquant les températures fixes lors de ces changements d'état.

D'après cela, on aurait pour les valeurs de A et B dans la formule $I = AT + BT^2$:

	VALEUR DE	
	A.	B.
De - 100 à - 50°.....	0,8384	0,000388
De - 50 à + 50.....	0,8860	0,001339
De 50 à 100.....	0,9058	0,000942
De 100 à 150.....	0,9104	0,000896
De 150 à 200.....	0,9389	0,000706
De 200 à 250.....	0,9577	0,000612
De 250 à 300.....	0,9982	0,000450
De 300 à 350.....	1,2010	-0,000226

Au moyen de ces deux tableaux, on a donc les degrés pyrométriques du couple platine-palladium par rapport aux températures centigrades données par le thermomètre à air.

J'ai cherché à déterminer les températures de quelques points de changements d'état des corps, tels que celles de la fusion ou de volatilisation des métaux, points fixes qui, de même que la fusion de la glace, l'ébullition de l'eau ou du mercure, ont lieu à des températures constantes quand les corps sont purs.

Le pyromètre employé est celui qui a été représenté fig. 1, et les fils, convenablement protégés par les tubes en porcelaine, n'ont été altérés par les vapeurs ou les métaux en fusion. Les indications de l'appareil ont été rapportées à celle qui est relative à la température de l'ébullition de l'eau, et qui a été prise égale à 100. Quant aux points de fusion de l'or et de l'argent, on va voir, page suivante, comment ils ont été déterminés.

On a obtenu ainsi les résultats indiqués dans le deuxième colonne du tableau suivant :

	INTENSITÉ du courant thermo-électrique ou degré pyro- métrique du couple.	TEMPÉRATURE fixe admise.
Ébullition du protoxyde d'azote à 760 ^{mm} de pr.	—70,7	—87,9°
Fusion du mercure	—31,7	—38,5
Ébullition de l'eau à 760 ^{mm} de pression...	100,0	100,0
Ébullition du mercure à 764 ^{mm} , 42.....	401,5	358,5
Ébullition du soufre à 767 ^{mm} , 12.....	535,3	(1) 448,3
Ébullition du cadmium ordinaire à 760 ^{mm} .	1060,0	»
Ébullition du zinc ordinaire à 760 ^{mm}	1445,0	(2) 891
Fusion de l'argent.....	1504,24	»
Fusion de l'or	1805,11	»
Fusion du cuivre rouge.....	2120,0	»

On a reconnu que dans la vapeur de soufre, dans celle du zinc, comme dans celle de l'eau et du mercure, la température est restée constante du moment que l'ébullition s'est produite. Dans la vapeur de zinc, cette température est restée inférieure à celle de la fusion de l'argent, quoique d'un petit nombre de degrés.

Après avoir déterminé les points d'ébullition de plusieurs liquides, j'ai cherché à évaluer les températures de fusion de différents métaux, et principalement de l'argent et de l'or, qui fondent à des degrés assez élevés. J'ai alors disposé l'appareil comme on l'indique dans la figure 2, de manière à mettre dans le tube horizontal en porcelaine AB qui traverse le fourneau, d'un côté le couple thermo-électrique platine-palladium, dont les fils sont représentés en P et Q, de l'autre, à l'aide d'une tige en fer L, un anneau également en fer DE, vu en coupe dans le tube et représenté en plan à côté de ce tube. Cet anneau en fer se maintient au milieu du tube en terre, et supporte trois petits crochets en platine *a a' a''*, dont la longueur a au plus $\frac{1}{3}$ du diamètre de l'anneau. A ces petits crochets se trouvent suspendus des petits fils d'argent, d'or, de platine, qui ne tou-

(1) M. Regnault, dans ses recherches sur les chaleurs latentes (*Mémoires de l'Académie des sciences*), a trouvé 447,3 pour la température d'ébullition du soufre à 760^{mm} de pression; cela ferait 448,3 à 767^{mm}, 12.

(2) J'ai déterminé ce nombre directement avec un thermomètre à air à enveloppe en porcelaine vernissée. Voir *Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers*, t. 4, p. 604.



...by perces
...on peut
...ment
...si
...susp. n.
...deve

ues a , a' , a'' , fondent, c'est par l'extrémité libre que la fusion se pro-
l'abord.

i comparé le pyromètre à air avec le pyromètre thermo-électrique
açant dans le tube en porcelaine de la figure 2 le réservoir en por-
re d'un pyromètre à air, et j'ai pu suivre concurremment l'indi-
1 de la température du pyromètre à air et la déviation donnée
e couple thermo-électrique dans le magnétomètre (1). J'ai pu
miner ainsi un certain nombre de points placés entre 600° et
'centigrades; mais pour les points intermédiaires, j'ai pu les calculer
ne remarque assez simple, c'est que pour des températures peu dif-
tes, en nommant I l'intensité du courant électrique déterminé à
: du magnétomètre et T la température correspondante, l'expression

$$3 \log T - 2 \log I$$

peu. Quand la différence devient plus grande, on peut considérer
ression

$$3 \log T - 2 \log I = A - \frac{B}{T},$$

laquelle A et B sont deux constantes, comme exprimant les tem-
ures.

tre les limites de température de 500 à 1200, les résultats des expé-
es n'ont pas différé de quelques degrés des nombres calculés par
expression empirique dans laquelle $A = 2,5629718$ et $B = 29,47$,
rte que cette expression est :

$$3 \log T - 2 \log I = 2,5629718 - \frac{29,47}{T}$$

réunissant les résultats des expériences de comparaison avec ceux
nt été obtenus entre 0 et $358^{\circ},50$, on peut alors former le tableau
nt, qui donne pour le couple dont j'ai fait usage les températures
spondantes aux indications du pyromètre thermo-électrique :

TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.
0	0	300	339,95	600	813,39	900	1466,39	1200	2236,4
10	8,99	310	350,59	610	832,94	910	1490,25	1210	2263,9
20	18,26	320	361,18	620	852,84	920	1514,30	1220	2291,5
30	27,79	330	371,72	630	872,80	930	1538,45	1230	2319,2
40	37,58	340	382,21	640	892,91	940	1562,72	1240	2347,0
50	47,65	350	392,66	650	913,17	950	1587,12	1250	2375,0
60	57,74	360	403,06	660	933,59	960	1611,65	1260	2403,0
70	67,56	370	413,10	670	954,15	970	1636,30	1270	2431,2
80	78,49	380	428,56	680	974,87	980	1661,07	1280	2459,4
90	89,14	390	442,72	690	995,73	990	1685,97	1290	2487,8
100	100,00	400	457,31	700	1016,76	1000	1711,00	1300	2516,3
110	110,99	410	472,50	710	1037,90	1010	1736,15	1310	2544,8
120	122,15	420	488,30	720	1059,20	1020	1761,51	1320	2573,5
130	133,49	430	504,81	730	1080,65	1030	1786,80	1330	2602,3
140	145,02	440	521,50	740	1102,24	1040	1812,31	1340	2631,2
150	156,72	450	538,37	750	1123,96	1050	1837,94	1350	2660,2
160	168,30	460	555,50	760	1145,84	1060	1863,69	1360	2689,4
170	179,99	470	572,81	770	1167,85	1070	1889,56	1370	2718,6
180	191,88	480	590,30	780	1190,00	1080	1915,55	1380	2747,9
190	203,88	490	607,97	790	1212,29	1090	1941,66	1390	2777,3
200	216,03	500	625,81	800	1242,22	1100	1967,88	1400	2806,9
210	228,11	510	643,82	810	1257,28	1110	1994,22		
220	240,32	520	662,00	820	1279,98	1120	2021,68		
230	252,65	530	680,35	830	1302,82	1130	2047,25		
240	265,10	540	698,86	840	1325,79	1140	2073,94		
250	277,67	550	717,56	850	1348,90	1150	2100,75		
260	289,95	560	731,24	860	1372,13	1160	2127,67		
270	302,32	570	755,40	870	1395,50	1170	2154,70		
280	314,78	580	774,57	880	1419,00	1180	2181,85		
290	327,32	590	793,88	890	1442,63	1190	2209,11		

Le tableau précédent se rapporte au platine et au palladium dont j'ai fait usage; en employant d'autres fils métalliques, on aurait probablement d'autres valeurs. Mais une formule empirique de même forme pourrait s'appliquer, et, à l'aide des points fixes que j'ai donnés, il serait facile pour chaque pyromètre thermo-électrique de faire une table des intensités correspondantes aux températures.

§ 2. *Température à laquelle les corps deviennent lumineux. Intensité des rayons émis; photomètre destiné à son évaluation.*

La disposition de l'appareil représenté fig. 2 permet de placer les corps dans le tube en porcelaine horizontal fixé au travers d'un fourneau, et d'étudier la lumière émise par les corps solides quand ils sont soumis à l'action de la chaleur.

D'après cette disposition, les corps dont on étudie le rayonnement sont placés au milieu d'une enceinte portée à une température plus ou moins élevée, et qui est à peu près constante au moment où l'on fait observation. A cet instant, l'on peut admettre que l'enceinte et le corps sont à la même température. Quelle est alors l'influence des parois lumineuses par incandescence de l'enceinte sur l'intensité de la lumière émise par le corps? Si le corps avait un pouvoir émissif plus faible que lui de l'enceinte, l'intensité de la lumière émise serait influencée par celle des parois; mais si l'on se borne au cas où le corps n'est pas doué d'un pouvoir réflecteur régulier, et ne donne que de la lumière diffusée, que de plus l'enceinte ait le même pouvoir émissif que lui, on peut dire que le corps, émettant autant qu'il reçoit, l'intensité de la lumière qu'il émet doit être la même que si l'enceinte n'existait pas et que si le corps, étant isolé, était maintenu par une cause quelconque à une température constante et égale à celle de cette enceinte.

Il était nécessaire de vérifier par expérience s'il en est réellement ainsi : c'est ce qui a été fait en prenant pour source lumineuse les points de jonction des fils de platine et de palladium formant le couple thermo-électrique, en déterminant à chaque instant la température de ces points incandescents au moyen de l'intensité du courant thermo-électrique, et en plaçant ceux-ci successivement dans le tube en porcelaine échauffé, dans la flamme d'un bec de gaz hydrogène mélangé d'air, flamme très-peu lumineuse. Pour les mêmes déviations, on a eu sensiblement la même intensité dans les deux cas, ou du moins les différences, si elles existent, n'ont pas été appréciables, eu égard aux erreurs que peuvent présenter les expériences elles-mêmes. Ainsi la lumière émise par l'enceinte n'intervient pas dans l'intensité de la lumière émise par le platine et par le palladium dont on étudie l'irradiation, lorsque l'enceinte et ces corps sont à la même température. On verra aussi plus loin qu'en raison de ce fait, des corps de même pouvoir émissif et de forme différente sont lumineux de la même manière. Du reste, dans cette circonstance, le tube en porcelaine qui forme l'enceinte a sensiblement le même pouvoir émissif que le platine, la chaux, la magnésie et le charbon, dont on a étudié l'irradiation.

Pour soumettre à l'expérience les corps de nature différente, on a placé ces corps au milieu du tube en porcelaine AB (fig. 2), de façon qu'ils ne se touchent pas et qu'ils aient entre eux un intervalle tel que leur image puisse être vue isolément avec le photomètre qui sera dé-

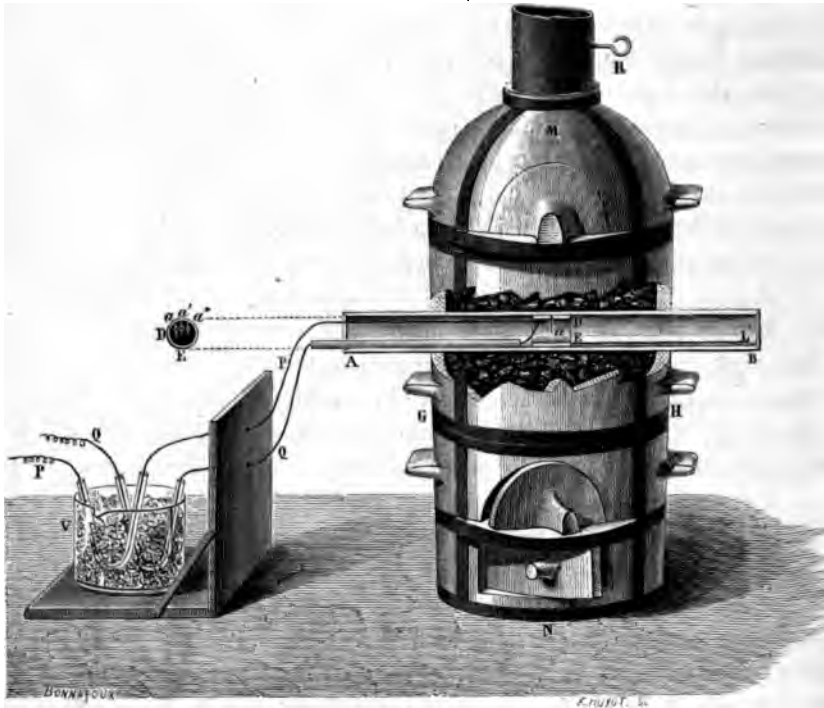


Fig. 2.

crit ci-après. On a aussi placé à côté d'eux les points de jonction du couple thermo-électrique. Afin d'éviter le refroidissement des corps placés au milieu du tube, l'extrémité A était fermée avec de la terre, et en même temps la longueur A B était telle que, A restant obscur, l'observateur, en regardant dans l'axe du tube, pouvait voir les objets lumineux placés en *a* projetés sur un fond obscur A. Cette condition est indispensable pour la comparaison des effets lumineux des corps incandescents. L'extrémité B était fermée avec une lame de verre très-mince taillée circulairement et entrant à frottement à l'extrémité B dans le tube en porcelaine ou en terre. Dans cette position, cette lame de verre se conserve intacte, tandis que lorsque ses bords dépassent les bords des parois du tube, elle se brise. Cette plaque de verre permet donc de faire aisément les observations en évitant le refroidissement des corps qui deviennent lumineux par irradiation.

Dans plusieurs expériences, on a placé au milieu du tube A B, qui avait

centimètres de diamètre intérieur, un second tube en terre ou en porcelaine de 15 à 20 millimètres; on a pu alors opérer sans mettre sur des petites lames de verre. Un second écran, qui est une simple boîte munie d'une ouverture, est placée à 30 ou 40 centimètres du fourneau; elle isole l'observateur et l'empêche d'être incommodé par le rayonnement qui émane de ce fourneau.

La limite relative à la température à laquelle les corps solides commencent à devenir lumineux, quand on est placé dans l'obscurité, est difficile à apprécier; si l'on opère par élévation de température, les bords du tube en terre fixé dans le fourneau rougissent avant les intérieurs dont on observe l'irradiation et qui forment l'extrémité du couple thermo-électrique lui-même, mais une portion de la lumière émise se réfléchissant par diffusion sur les fils, ces derniers ne sont pas alors en vertu de leur action propre. Si l'on opère, au contraire, lorsque le fourneau est en voie de refroidissement, l'inverse a lieu, et on peut plus facilement saisir le décroissement de lumière; mais il est à peu près impossible de saisir le moment précis où cesse le pouvoir qu'a le corps d'émettre des rayons lumineux: tout ce que l'on peut dire, c'est que si l'on est placé dans l'obscurité profonde, à 510° la lumière émise est excessivement faible; à 488° ou 490° on saisit encore des traces de lumière dont l'intensité est à peine appréciable, mais que l'on peut distinguer, et à 460° il n'y a plus aucun effet. On peut donc, sans erreur bien grande, prendre un terme compris entre 480° et 490° pour celui où les corps solides commencent à émettre quelque trace de lumière dans l'obscurité par l'action de la chaleur, bien en nombre rond celui de 500°, qui a été admis généralement qu'ici pour la limite où les substances commencent à devenir visibles dans une enceinte faiblement éclairée, de façon que tout observateur puisse commencer à percevoir nettement les rayons lumineux émis, quoique encore très-sombres.

Ce qui précède suppose que les différents corps solides commencent à devenir lumineux par incandescence à partir de la même limite; mais en est-il réellement ainsi?

Il est évident que les corps doivent commencer à émettre des rayons d'une longueur d'onde déterminée à une température fixe, la même pour tous. Mais comme ils ont des pouvoirs émissifs différents, il s'agit de savoir s'ils deviendront visibles à partir de la même limite, alors qu'ils émettent des rayons de même réfrangibilité avec des intensités

inégales. Ils ne seraient pas vus en même temps à partir de la même limite de température, si l'on comparait, par exemple, les gaz qui sont très-peu lumineux avec des corps solides qui le sont beaucoup; mais quand il s'agit des corps solides comparés entre eux, tels que ceux qui ont été cités plus haut, il est facile de voir que les différences dues à cette cause ne peuvent être appréciées expérimentalement. En effet d'abord la différence entre leur pouvoir émissif d'irradiation n'est pas bien grande, même si l'on compare le platine aux oxydes de cuivre et de fer; mais, d'un autre côté, d'après les expériences qui vont être indiquées plus loin, si l'on cherche, à partir de la limite de température T à laquelle tous les corps commencent à émettre des rayons dont la longueur d'onde correspond à celle qui est nécessaire pour qu'il y ait une impression sur la rétine, quelles sont les intensités à $T + 1^\circ$ et à $T + 2^\circ$, on trouve que ces intensités sont sensiblement comme 1 : 2, c'est-à-dire que, près de la limite dont il est question, une simple différence de 1° dans la température d'un même corps peut à peu près doubler l'intensité de la lumière émise. On sait également que l'œil peut saisir des différences entre les intensités lumineuses de deux corps voisins quand cette différence est de $\frac{1}{60}$, et même on peut aller au

delà quand il s'agit de lumières peu intenses; or, comme on ne peut être certain de la température à 1° près dans les températures élevées, on voit que les corps opaques comparés entre eux doivent devenir sensiblement visibles à partir de la même limite, qui est, d'après ce qui précède environ 490° , c'est-à-dire une température un peu inférieure à 500° .

Pour comparer les intensités lumineuses, j'ai fait usage d'un photomètre (1) fondé sur l'emploi de la double réfraction, et qui est représenté fig. 3; il permet de comparer directement l'éclat de surfaces égales de deux sources lumineuses. Pour atteindre ce but, l'appareil se compose de deux petites lunettes APO, BPO de 40 centimètres de longueur sur 4 centimètres de diamètre, dont les axes sont placés à angle droit sur une moitié de leur longueur et qui ont le même oculaire O. Un prisme en verre, à angle droit, placé au point de croisement P des lunettes, donne par réflexion totale aux rayons qui pénètrent suivant B une direction telle que l'observateur peut voir en même temps à

1. Voir *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, 1861, t. LXII, p. 15, et *Ann. du Conservatoire des arts et métiers*, t. IV, p. 597.



Fig. 3.

l'aide de l'oculaire O deux images placées à côté l'une de l'autre, l'une formée par l'objectif A, l'autre par l'objectif B.

L'appareil est monté de telle manière que le tube B peut être placé d'un côté ou de l'autre, de façon à viser la lumière servant de terme de comparaison à droite ou à gauche. Un système de deux prismes ordinaires de Nicol est placé dans l'axe de la lunette latérale B, et l'un d'eux est mobile, de façon que l'on peut donner à l'intensité lumineuse de l'image vue par cette lunette, la valeur que l'on veut depuis l'intensité maximum totale de la lampe correspondant au parallélisme des sections principales des

prismes de Nicol jusqu'à l'extinction presque complète.

Un autre système de deux prismes de Nicol, dont les faces terminales sont taillées perpendiculairement à l'axe, est placé dans l'axe de la partie A de la lunette droite, et l'un d'eux est mobile de façon à pouvoir décrire un angle variable de 0 à 90°, que l'on peut mesurer sur un cercle divisé CC; on peut aisément lire la minute sur le cercle.

On voit donc qu'une fois l'intensité et la couleur de la lumière normale vue en B, ayant le degré voulu, il n'y a plus qu'à juxtaposer l'image de cette lumière avec celle de la source que l'on étudie vue par la lunette A, et cela peut être fait à l'aide d'un léger mouvement donné au pied de l'appareil; on fait ensuite varier l'intensité de cette lumière en tournant le bouton α de façon à la rendre égale à la première.

Dans les expériences dont il s'agit ici, comme on compare la lumière émise par un fil de platine, par une lame de métal, ou bien par un fragment d'un corps placé au milieu du tube, à la lumière émise par une lampe placée dans une espèce de lanterne munie d'un écran à ouver-

ture rectiligne dont la largeur est variable, on donne à cette dernière ouverture la même dimension angulaire que celle du fil ou de la lame de métal incandescente soumise à l'expérience, de façon à voir à la fois par l'oculaire O du photomètre deux images lumineuses de même étendue et juxtaposées. Il faut remarquer, comme on l'a déjà dit, que les corps incandescents étant placés au milieu d'un tube en terre ou en porcelaine qui traverse le fourneau de part en part, sont vus isolément et sans que des rayons lumineux émanés dans le voisinage viennent modifier les effets observés. Quant à la lumière qui proviendrait des gaz portés à l'incandescence et qui environnent le fil de platine, elle est tellement faible par rapport à la lumière émise par le platine, qu'on peut la négliger.

La méthode expérimentale dont on a fait usage est très-simple : on examine la lumière de la lampe prise pour unité, par la lunette latérale du photomètre, et à l'aide de verres colorés et des prismes de Nicol de cette lunette on lui donne une faible intensité, qui doit rester constante pendant toute la durée d'une même observation. On vise alors le corps incandescent au moyen de la lunette droite A du photomètre, et à l'aide d'un verre coloré placé devant l'objectif on donne à cette lumière la même couleur qu'à celle de la lampe. Cela fait, au moyen de l'alidade α , qui met en mouvement le prisme de Nicol dont les faces terminales sont taillées perpendiculairement à l'axe de la lunette, on fait varier l'angle des sections principales des deux prismes placés dans le corps de cette lunette droite, et dès lors on fait varier l'intensité de la lumière reçue par l'observateur suivant la loi connue du carré du cosinus. On peut donc amener cette lumière à avoir la même intensité que celle de la lumière de la lampe. On voit qu'à l'aide de ce moyen non-seulement on peut comparer l'intensité des rayons d'une réfrangibilité déterminée émis par les corps incandescents, mais encore quand les lumières à comparer sont peu intenses, leur couleur étant la même, que cette comparaison peut avoir lieu avec autant d'exactitude que par la méthode des ombres. De plus, les intensités restant les mêmes pendant toute la durée d'une même série d'observations, la limite de l'erreur que l'on peut commettre reste la même dans chaque détermination. Cette limite est telle que, si les prismes de Nicol de la lunette droite ont de 40° à 50° entre les positions de leurs sections principales, un mouvement de 5 minutes de degré dans un sens ou dans l'autre fait apparaître une différence dans

l'éclat des lumières que l'on compare. Si l'angle devient plus grand, **alors** la limite d'erreur est moindre.

On doit donc, comme on le voit, ramener toujours l'intensité de la lumière que l'on étudie à avoir une valeur constante. Ce résultat exige que la lampe Carcel placée dans la lanterne ait une intensité constante ; **quand** elle est bien montée, on peut y arriver avec exactitude pendant **au moins** une heure ; mais d'un jour à l'autre il peut y avoir de faibles différences.

J'ai fait également usage d'un autre photomètre plus simple, dans lequel il n'y a qu'un système de prismes de Nicol ; mais l'appareil décrit ici est d'un meilleur emploi.

Si l'on cherche à étudier l'émission lumineuse d'un fil de platine de $\frac{1}{2}$ à 1 millimètre de diamètre fixé verticalement au milieu du tube en porcelaine, on reconnaît aisément que la couleur de la lumière émise change rapidement depuis le rouge sombre près de 500° , jusqu'à la teinte orangé clair, vers 1200° . Au-dessous de 700° à 750° , on ne peut guère évaluer avec le photomètre l'intensité de la lumière ; au delà la lumière devient de plus en plus jaune, et après la fusion de l'or elle est plus blanche. Mais dans les limites de 750° à 1000° on peut, en plaçant devant l'ouverture éclairée par la lampe un verre jaune clair, comparer à cette lumière jaune celle du platine incandescent, quoique ce dernier émette une lumière un peu plus rougeâtre vers 800° et un peu plus blanche quand on atteint 1000° . Ainsi, entre certaines limites on pourrait à la rigueur comparer en totalité les intensités de la lumière émise par les corps incandescents. Si l'on veut comparer entre elles les intensités des rayons correspondant à une réfrangibilité donnée, telle que le rouge ou le vert, et qui seraient émis à diverses températures, comme on l'a fait dans la presque totalité des expériences, il suffit de mettre des écrans de cette couleur non-seulement devant la lampe, mais encore devant l'ouverture du photomètre.

On a commencé par comparer les intensités de la lumière émise par plusieurs corps situés à côté les uns des autres sur un même plan dans l'intérieur du tube en porcelaine, perpendiculairement à la longueur du tube, et espacés l'un de l'autre de façon qu'à l'aide de la lunette du photomètre on pût les étudier séparément. On a placé ainsi : 1° un fil de platine de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre ; 2° une lame plane en platine de 5 millimètres de largeur et dont la surface était mate ; 3° une lame de platine recourbée en forme de demi-cylindre à axe vertical,

tournant sa concavité vers l'observateur ; 4° enfin une mèche d'asbeste de 3 à 4 millimètres d'épaisseur. Les intensités lumineuses ont été sensiblement les mêmes, quand la température a été partout uniforme et cependant la lumière émise par le fond de la partie courbe de la lame de platine ne pouvait être influencée par les parois du tube en porcelaine.

On pourrait supposer que les corps avec lesquels j'ai agi fussent doués d'un pouvoir réfléchissant assez fort, et que la lumière émise par eux contiât une partie de celle de l'enceinte réfléchi sur leur surface; mais il est aisé de montrer que cette supposition ne saurait être admise, le platine non poli présentant, comme le kaolin, le charbon la magnésie, sensiblement le même pouvoir émissif à la température rouge.

On a disposé d'abord à côté l'un de l'autre parallèlement, dans le gros tube en porcelaine AB, deux tubes plus petits : l'un en porcelaine l'autre en platine. Au milieu du tube en porcelaine on a mis un fragment de kaolin, et au milieu de celui en platine on a fixé une lame de platine puis on a porté simultanément les deux tubes et les corps au rouge. On voit que le kaolin était entouré d'une enceinte en porcelaine, et le platine, de platine; dans ces conditions, au rouge blanc, on n'a pu constater avec le photomètre aucune différence appréciable entre les intensités lumineuses des deux corps. Ces deux substances, comme leurs enceintes, ont donc sensiblement le même pouvoir émissif.

Enfin, la meilleure démonstration de ce fait, démonstration qui suffit seule pour les expériences faites ici, consiste à placer le couple platine-palladium successivement dans le tube, puis dans la flamme d'un bec de gaz, comme on l'a dit plus haut, et à évaluer l'intensité de la lumière rouge émise en plaçant des verres rouges devant les deux oculaires du photomètre : on a observé sensiblement la même intensité dans l'un et l'autre cas, quand la température indiquée par le couple était la même.

On a mis dans le tube AB de la fig. 2, situé au milieu du fourneau différents corps solides, et l'on a étudié leur intensité lumineuse de puis le moment où ils commencent à devenir tous lumineux, c'est-à-dire depuis 480° à 490° jusqu'aux températures les plus élevées que le fourneau peut donner. Dans ces conditions, le platine et l'asbeste, ainsi que le charbon de cornue, la chaux et la magnésie, ont donné sensiblement les mêmes effets au photomètre; il en a été de même de l'o

jusqu'à sa fusion. Quant aux métaux oxydables, comme le cuivre et le **fer**, la couche d'oxyde qui les enveloppe et qui se forme à leur surface au **moment** de leur élévation de température dans le tube en porcelaine, **a sans doute** un pouvoir d'irradiation moindre que le platine à **température égale**, car les images qu'ils présentent sont moins lumineuses **que** celles données par ce dernier métal. Comme on le verra plus loin, **les** pouvoirs émissifs du platine et du cuivre sont différents depuis **300° à 600°** jusqu'au point de fusion du cuivre, et le cuivre a une irradiation moins forte. Mais quand la température s'élève et s'approche de **celle** de la fusion du cuivre rouge, cette différence devient à peine **sensible**, et le cuivre paraît à peu près aussi lumineux que le platine. Le **cuivre** et le fer placés dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et **hydrogène** conduisent aussi à la même conclusion. L'argent a présenté **au** contraire, dans quelques expériences jusqu'à sa fusion, une lumière **un** peu plus blanche et un peu plus vive que celle du platine; mais cette **différence** n'a pu être évaluée au photomètre; tient-elle à un pouvoir **d'irradiation** plus grand du fil d'argent ou à la réflexion sur sa **surface** d'une certaine quantité de lumière émanée de quelques points **de** l'enceinte qui pouvaient avoir à un moment donné une température plus élevée que celle du fil d'argent? C'est ce que je n'ai pu **décider**.

En somme, pour un certain nombre de corps opaques, comme les **les** métaux inoxydables tels que le platine et le palladium, dont la **surface** est mate, le charbon, l'asbeste, la chaux, on peut admettre un **pouvoir** d'irradiation qui est sensiblement le même; pour d'autres, **comme** on l'a vu, il est différent.

Les expériences suivantes ont été faites en prenant pour corps lumineux la réunion des deux fils de platine et de palladium servant de **couple** thermo-électrique. On a déterminé à chaque instant la température à l'aide du courant électrique donné par ce couple, et l'intensité lumineuse des rayons rouges vus à travers un verre rouge coloré par le **protoxyde** de cuivre. Les rayons qui traversent ce verre forment la partie **du** spectre comprise entre la raie noire A et un intervalle compris entre **C** et **D**, à un tiers environ de la distance CD, le maximum d'action correspondant à un espace situé entre B et C. On aurait pu employer la **réunion** d'un verre rouge avec un verre bleu de cobalt qui donne une **partie** rouge moins orangée que la précédente; mais un écran obtenu **ainsi** est trop sombre pour les observations.

On a opéré la première fois en chargeant le fourneau avec du coke et ensuite en employant le charbon de cornue, ce dernier combustible permettant d'atteindre une température bien plus élevée. Les observations ont été faites pendant que le fourneau présentait une augmentation graduelle de température, au moment du maximum, et ensuite pendant la période du refroidissement. On trouve aisément, en raison du grand nombre d'observations faites, quelles sont les indications du magnétomètre, et par conséquent les intensités du courant thermo-électrique qui sont relatives à une intensité donnée, au moment où la température est ascendante et quand elle est descendante. En général, on trouve pendant l'ascension une température un peu plus élevée que pendant la période descendante, quoique d'une faible quantité; cet effet provient peut-être de ce que les parois du tube en terre sont dans le premier cas à une température un peu plus élevée, et dans le second moins élevée que la partie centrale, et de ce que la température des fils métalliques qui touchent aux parois du tube en terre se communique par conductibilité jusqu'à leur point de jonction. On prend alors la moyenne de deux déterminations. C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres qui sont renfermés dans les tableaux suivants.

On doit remarquer aussi que les angles observés sur le photomètre sont les angles mesurés depuis le point de croisement des sections principales des prismes de Nicol, et non depuis leur parallélisme comme on atténue toujours l'intensité de la lumière I qui vient du corps incandescent pour la rendre constante et égale à celle de la source pour unité, si l'on désigne par α l'angle précédemment indiqué. $I \sin. \alpha$ sera une constante C dans chaque série d'expériences, de sorte que l'intensité lumineuse dans chaque cas sera proportionnelle à $\frac{C}{\sin. \alpha}$.

si l'on passe aux logarithmes et que le rayon des tables soit R , on peut prendre R pour constante C , et le rapport précédent deviendra $\frac{R}{\sin. \alpha}$.

on aura donc $\log. I = \log. R - 2 \log. \sin. \alpha$. Les logarithmes des intensités lumineuses sont obtenus ainsi dans les tableaux suivants, et l'intensité lumineuse, quand les sections principales des prismes sont parallèles, est alors prise pour unité. Quant aux températures, on les a déduites chaque fois de l'intensité du courant thermo-électrique et du tableau donné page 70; on prend comme termes de comparaison les points de fusion de fils d'or ou d'argent qui ont été observés dans chaque

termination expérimentale, et dont les températures sont 1037° et 916°.

RAYONS ROUGES.	ANGLE α observé depuis le croisement des prismes du photomètre.	LOGARITHME de I.	INTENSITÉ lumineuse I		MAGNÉTOMÈTRE.		
			observée.	calculée.	Déviation observée.	Déviation rap- portée à celle qui a lieu à 100°.	Température centigrade.
12 décem- bre 1861.	Fusion de l'arg. 90°?	"	"	"	261,0	1504,24	916,0
	40.00'	0,3838650	2,42	2,00	255,5	1472,55	902,6
	30.25	0,5912106	3,90	4,04	284,4	1639,00	970,6
	20.35	0,9079780	8,09	8,18	303,9	1751,38	1016,0
	17.30	1,0437164	11,06	11,56	330,9	1906,98	1076,7
	12.20	1,3408024	21,92	20,91	345,5	1991,12	1108,9
	10.35	1,6719452	29,65	27,21	368,1	2121,36	1157,6
	8.25	1,6090012	46,68	44,39	478,8	2183,03	1180,4
					399,0	2299,44	1222,5
21 décem- bre 1861.	Fusion de l'arg. 43.30	"	"	"	258,5	1504,24	916,0
	33.15	0,5243756	2,11	2,04	288,8	1680,53	987,6
	27.30	0,5219742	3,33	3,19	305,5	1777,71	1026,4
	21.15	0,6711888	4,69	4,60	319,4	1858,59	1058,0
	16.10	0,8815324	7,61	7,83	340	1978,46	1103,6
	13.30	1,1105006	12,90	14,05	363	2112,30	1153,9
	1,2632694	18,35	18,09	373,2	2171,65	1175,5	
Id.....	27.25	0,6736200	4,72	4,70	320	1862,08	1058,0
	19.45	0,9425806	8,76	8,13	341,3	1986,03	1106,7
	18.00	1,0200352	10,47	10,67	352,0	2048,29	1130,4
	13.10	1,2849520	19,27	20,48	378,0	2199,58	1186,5
	12.15	1,3466006	22,21	22,57	382,0	2222,86	1195,0
	1,4787310	30,11	29,59	393,0	2286,87	1219,0	
24 Janvier 1862....	Fusion de l'arg. 47.20	"	"	"	255,0	1504,24	916,0
	37.25	0,2670602	1,85	1,83	280,0	1652,00	976,0
	26.15	0,4327546	2,71	2,86	297,0	1752,30	1016,4
	19.32	0,7111548	5,14	3,63	307,0 F. de l'or	1805,11	1037,0
	14.52	0,9515868	8,95	7,04	331	1952,90	1094,3
	11.40	1,1815864	15,19	14,46	359	2118,10	1156,2
	1,3883622	24,46	24,49	380	2242,00	1202,2	

On reconnaît à l'inspection de ce tableau avec quelle rapidité croît l'intensité lumineuse à mesure que la température s'élève. Il est assez difficile, en raison des erreurs que peuvent donner les méthodes photométriques et thermométriques employées, de reconnaître la loi en vertu de laquelle ces variations ont lieu, en supposant que cette loi soit simple; cependant, on peut s'assurer que les différences entre les logarithmes des intensités lumineuses sont sensiblement proportion-

nelles aux différences de température, ce qui montre qu'une formule exponentielle de la forme

$$I = a \left(e^{b(T - \theta)} - 1 \right) \quad (1),$$

dans laquelle I est l'intensité lumineuse, T la température du corps, θ la température à laquelle les rayons lumineux de la réfrangibilité qu'on étudie commencent à être émis, e la base des logarithmes adoptés, a et b des coefficients constants pour une même série d'expériences peut sensiblement représenter les observations entre les limites où l'on a opéré. Cette formule, du reste, est analogue à la formule

$$V = ma \left(\frac{t}{a - 1} \right),$$

donnée par Dulong et Petit, et qui règle la vitesse du refroidissement des corps échauffés placés au milieu d'une enceinte vide.

Si l'on prend pour base des logarithmes $e = 10$, on trouve que la valeur de b est sensiblement la même dans les quatre expériences ; a pour b :

$$\left. \begin{array}{l} 0,005102 \\ 0,004997 \\ 0,005001 \\ 0,004957 \end{array} \right\} \text{ dont la moyenne est de } 0,005014.$$

Quant à la valeur de a , elle dépend de l'intensité de la lumière prise pour unité et à laquelle on compare la lumière émise par les corps incandescents; elle peut varier d'un jour à l'autre.

Puisqu'il s'agit de rayons rouges, on a vu précédemment que la température θ , à laquelle l'émission commence, est voisine de 480° ou 490° , et s'il s'agissait des rayons lumineux rouges les moins réfrangibles, on devrait admettre pour θ cette valeur; mais, comme on a fait usage de verres rouges laissant passer des rayons orangés, on peut sensiblement prendre pour θ la température de 500° . Il est facile de voir, du reste, que la formule servant à calculer I serait très-peu différente dans les deux cas, et que les différences porteraient seulement sur les logarithmes du coefficient $\frac{1}{a}$. J'ai admis cette dernière valeur de 30 pour θ , et d'après cette supposition on a pour moyennes :

	$\text{Log } \frac{1}{a}$	Valeur de α .
1 ^{re} expérience. . . .	1,9787217	0,0105020
2 ^e —	2,1289660	0,0074380
3 ^e —	2,1320528	0,0073781
4 ^e —	2,1320000	0,0073791

facile, d'après l'expression ci-dessus, connaissant b et a , d'où est ainsi qu'ont été obtenues par le calcul les valeurs de T placées des déterminations expérimentales dans le tableau précédent, 1. Les différences entre les valeurs calculées et les valeurs observées sont tantôt dans un sens, tantôt dans un autre.

Il n'est pas seulement les rayons rouges qui donnent lieu à un accroissement d'intensité lumineuse avec la température, lequel paraît être une expression exponentielle de la forme indiquée plus haut; les rayons colorés conduisent à la même conséquence. On a opéré sur deux séries d'expériences suivantes avec des verres verts et des verres bleus qui laissent passer, les premiers, les rayons verts et le commencement du bleu de l'image prismatique; les seconds, toute la partie la plus réfrangible du spectre. On n'a pas, au moyen de ces verres colorés, des rayons d'une seule réfrangibilité comme avec les verres incolores, mais il ne m'a pas été possible jusqu'ici, vu la faible intensité de la lumière émise, d'opérer sur l'image d'un fil de platine rouge au travers d'un prisme; on peut dire seulement que le verre vert ne laisse passer ni rouge ni orangé, et que le verre bleu ne laisse passer que le bleu de l'image prismatique sans trace de rouge.

	PHOTOMÈTRE.			MAGNÉTOMÈTRE.		
	ANGLE α depuis le crois- ement des prismes de Nicol.	LOGARITHME de I.	INTENSITÉ lumineuse I.	Dévi- ation observée.	Dévi- ation par rap- port à celle qui a lieu à 100°.	Température.
30 déc. 1861. LUMIÈRE VERTE.	Fusion de l'arg. 50°40'	0,2231112	*	256,0	1504,24	916°0
	30.55	0,5784274	1,72	274,0	1610,02	959,3
	22. 5	0,8497288	3,79	301,2	1769,85	1023,3
	15.35	1,1410598	7,08	315,8	1855,64	1056,8
	11.35	1,5945030	13,86	337,4	1982,56	1105,3
	8. 2	1,7093014	24,80	355,5	2088,92	1143,6
	5.10	2,0910018	51,20	393,5	2312,21	1227,5
	4.26	2,2209164	123,32	418,0	2456,17	1278,8
			168,61	433,0	2544,31	1310,0
4 janvier 1862. LUMIÈRE BLEUE.	Fusion de l'arg. 90°	0	*	253,9	1504,24	916,0
	66.20	0,0763074	1	320,0	1893,68	1072,3
	53.00	0,1953028	1,19	330,0	1990,46	1108,6
	47.30	0,2647382	1,57	341,3	2021,86	1120,1
	35.25	0,4738058	1,84	347,0	2055,63	1133,1
	30.37	0,5858332	2,98	364,8	2161,08	1172,3
	26.22	0,7047562	3,85	372,5	2206,69	1189,1
	23.20	0,8044346	5,07	381,5	2260,00	1208,6
	19.55	0,9353754	6,37	392,0	2322,21	1231,1
	16.17	1,1040504	8,62	399,0	2363,68	1245,9
	12.35	1,3236376	12,71	415,0	2458,46	1279,7
	10.15	1,4994356	21,07	433,6	2568,65	1348,3
	.9	1,6113352	31,58	453,0	2683,57	1388,0
		40,86	456,0	2701,33	1364,1	

On voit, d'après ce tableau, que, malgré des irrégularités plus grandes qu'avec les rayons rouges, les différences entre les logarithmes des intensités lumineuses sont sensiblement proportionnelles aux différences des températures des valeurs calculées. Les rapports qui donnent la valeur b sont en moyenne :

Pour les rayons verts. 0,00594,
Pour les rayons bleus. 0,00713.

D'après cela, une formule analogue à la formule (1) donnerait les intensités lumineuses dans les deux séries d'expériences précédentes mais il faudrait prendre alors pour θ un nombre un peu supérieur à 500°, car ce n'est qu'après cette température que les corps incandescents commencent à émettre des rayons d'une réfrangibilité plus grande que le rouge.

On peut reconnaître que la valeur du rapport b augmente avec la température.

ité; il est vrai qu'il faudrait un plus grand nombre d'observations avoir les valeurs exactes de b relatives aux différents rayons : à l'aide desquels on a opéré; mais si l'on admet les valeurs tes, et que l'on remarque que les rayons lumineux ne sont pas si l'on cherche en outre quels sont les rayons moyens émis res rouges, verts et bleus, les premiers verres donnant ux rayons lumineux compris entre les raies B et C du spectre es seconds, la partie de l'image prismatique voisine de E, et bleus celle comprise entre F et G, on aurait :

DES RAYONS qui traversent verres colorés.	VALEUR DE b .	LONGUEUR D'ONDE en millièmes de millimètre. λ (1).	PRODUIT $b\lambda$.
.....	0,00501	670	3,357
.....	0,00591	526	3,109
.....	0,00715	460	3,289

montrerait, si des expériences ultérieures viennent confirmer ce de, que les valeurs de b seraient sensiblement en raison in-

l, c'est-à-dire des longueurs d'onde des rayons lumineux. oit-on admettre cette conclusion, ou bien les différences que rve entre les valeurs de b ne proviennent-elles pas d'une autre surtout de ce que l'on a admis que a était constant? Si le émissif des corps varie non-seulement pour les rayons de di- eurs, mais encore avec la température, la valeur de b pour- constante, et alors ce serait le coefficient a qui varierait.

t, si l'on compare les valeurs de ces coefficients constants à coefficient a qui règle la vitesse du refroidissement dans le s la formule

$$V = ma^b (a^t - 1),$$

, d'après Dulong et Petit,

$$a = 1,0077.$$

nt la même forme à la formule de l'émission lumineuse des uges moyens, on aurait

a dans le livre suivant quelles sont les longueurs d'onde des différents rayons

$$I = A \left(10^{b(T-\theta)} - 1 \right)$$

et comme $b = 0,00304$, en simplifiant il viendrait

$$I = A \left(1,01160^{(T-\theta)} - 1 \right),$$

c'est-à-dire que le coefficient qu'il faut élever à la puissance $T - \theta$ pour avoir l'intensité lumineuse du rouge moyen est un peu supérieur au coefficient trouvé par Dulong et Petit pour exprimer la vitesse du refroidissement des corps.

Pour les rayons verts, cette constante serait. . . 1,01371,

Pour les rayons bleus 1,01660.

Si dans le refroidissement des corps au milieu d'une enceinte absolument vide le coefficient a est une constante absolue, comme Dulong et Petit l'ont supposé, alors, comme on vient de le voir, les valeurs trouvées pour la lumière seraient un peu supérieures. Mais les expériences calorifiques n'ayant pas dépassé 240° , on peut se demander à des températures plus élevées cette constante ne subirait pas de changements. Il est probable qu'il en est ainsi, et que la valeur de a pour la chaleur, dépendant de la qualité des rayons émis, à des températures très-élevées devrait arriver à être comprise entre les limites que l'on a trouvées pour les rayons rouges.

Il est permis de supposer, vu l'identité d'origine de la chaleur et de la lumière, ainsi que des lois qui régissent la marche des rayons lumineux et calorifiques, que la loi d'émission est la même; mais il faudrait pouvoir tenir compte des changements qui ont lieu dans les différentes conditions physiques des corps au moment de cette émission. Ces recherches n'ayant donné que les changements observés dans l'intensité lumineuse, on doit se borner actuellement à considérer les formules citées plus haut comme représentant empiriquement et d'une manière suffisamment exacte les résultats des expériences.

§ 3. Intensité des rayons différemment réfrangibles émis par les corps incandescents. Intensité totale de la lumière émise.

Lorsque la température d'un corps solide opaque incandescent lève, non-seulement l'intensité d'un rayon d'une réfrangibilité déterminée augmente, mais encore il vient s'ajouter de nouveaux rayons

S réfrangibles à ceux qui existent déjà; si ce corps est gazeux, alors l'égalité du phénomène peut être en défaut par suite d'effets dont parlera dans le livre suivant.

Quand on étudie à l'aide de la réfraction l'étendue du spectre produit par un corps comme le platine, la chaux, la magnésie, placé à côté du spectromètre thermo-électrique, on reconnaît que si les rayons visibles commencent à être émis un peu avant 500°, à 600° l'image prismatique s'étend presque jusque vers la région où se trouve la raie noire F du spectre solaire, et il faut aller jusqu'à fusion de l'or ou près de 1100° pour que cette image atteigne l'extrémité correspondante à la raie H, qui sépare le violet visible du spectre. Ensuite, à une température plus élevée viennent s'ajouter des rayons encore plus réfrangibles, qui ne sont accusés que par des actions chimiques ou phosphorescentes.

Il doit y avoir une relation entre la température du corps rayonnant et la réfrangibilité maximum des rayons émis, comme il y a une relation entre cette même température et l'accroissement d'intensité d'un corps d'une réfrangibilité déterminée et ainsi qu'on l'a vu dans le paragraphe précédent; mais la difficulté des expériences, vu la faible intensité des rayons dont on veut déterminer le commencement de l'émission, et l'intensité plus forte des rayons voisins n'a pas permis de résoudre la question.

Quelques recherches ont été faites à l'aide d'un fil de platine rendu incandescent par un courant électrique, source de chaleur et de lumière; l'on peut aisément maintenir constante.

M. Draper (1) a cherché à comparer l'intensité de la lumière émise par un fil de platine incandescent placé dans l'air, ainsi que l'intensité de la chaleur rayonnante émise, et cela depuis l'instant où le fil devient rouge jusqu'aux températures les plus élevées. Pour déterminer dans chaque cas la température du fil, il a évalué la dilatation de ce fil en supposant le coefficient de dilatation constant, il en a conclu la température. En somme, l'appareil forme lui-même un pyromètre à platine, et dès lors l'inégalité de dilatation de ce métal donne lieu, aux températures élevées, aux mêmes incertitudes que celles auxquelles on est conduit avec les pyromètres ordinaires.

Voici néanmoins quels sont les résultats qu'il a donnés et qui sont relatifs à la quantité de chaleur émanée du fil, à la quantité de lumière

(1) *Philosophical magazine*, t. 30, p. 345; 1847.

déterminée par la méthode des ombres, et à l'extension plus ou grande du spectre lumineux. On doit remarquer que lorsque l'ascension du fil de platine a lieu dans l'air, ce gaz refroidit très dement le fil, et l'on n'est pas certain que la surface de ce fil et la centrale soient au même instant à la même température. On plus loin quels sont les effets qui me portent à émettre cette opi

INTENSITÉ de la chaleur émise.	TEMPÉRATURE centigrade du fil de platine incandescent (par la dilata- tion du pla- tine).	INTENSITÉ de la lumière émise.	ÉTENDUE du spectre lumineux donné par le platine incandes
•	523	•	Le rouge apparaît.
0,87	527	•	On voit dans le spectre de rouge jusque à une espace respondant à la raie E dans le La limite du spectre s'étend qu'entre E et F.
1,10	590	•	
•	600	•	
1,50	655	•	
1,60	718	•	La limite du spectre s'étend qu'entre F et G.
2,20	782	•	La limite du spectre s'étend qu'entre G et H, près de G.
2,80	846	•	La limite du spectre s'étend qu'en H.
3,70	910	•	
5,00	974	•	
6,80	1038	0,34	
8,60	1100	0,62	
10,00	1166	1,75	
12,50	1230	2,92	
15,50	1293	4,40	
•	1357	7,24	
•	1421	12,34	

M. Zöllner (1), dans un travail fait sur le même sujet, s'est p de rechercher les lois du dégagement de la lumière dans des platine rendus incandescents par un courant électrique et de co l'action lumineuse à l'effet calorifique produit. Il s'est servi d't tomètre d'une disposition particulière, fondé sur les effets de la réfraction. Les deux lumières à comparer sont toutes deux polai

(1) *Photometrische Untersuchungen*, etc.; Basel, 1859.

angle droit, de sorte qu'avec un même prisme de Nicol, lors du mouvement de rotation de ce dernier, si l'une des lumières augmente d'intensité, l'autre diminue, et l'on est certain, dans l'intervalle d'un quart de révolution, d'arriver à une position qui donne l'égalité des deux images lumineuses; seulement, les lumières éclairant des verres dépolis, l'on a le pouvoir éclairant de la surface totale des sources lumineuses, et non pas l'intensité d'une même étendue de ces sources comme en opérant au moyen du photomètre décrit antérieurement page 75. Il a déduit l'effet calorifique de la loi bien connue en vertu de laquelle la quantité de chaleur dégagée est proportionnelle à la résistance à la conductibilité du fil parcouru par le courant et au carré de la quantité d'électricité qui passe pendant un temps donné.

Il a établi par l'expérience qu'en opérant avec des fils de diamètres différents, pour des degrés égaux d'incandescence la même quantité de chaleur est cédée à l'enceinte et ne dépend pas des diamètres des fils. Il a attribué les différences obtenues dans les séries d'observations au pouvoir refroidissant des extrémités des électrodes entre lesquelles les fils sont fixés. Mais il ne lui a pas été possible de trouver une relation simple entre l'intensité du courant électrique et le dégagement de chaleur et de lumière; les fils de platine étant placés dans l'air, une partie de la chaleur se communiquait par contact aux particules gazeuses environnantes.

J'ai suivi le même mode d'expérimentation, comme on va le voir, mais je n'ai pas cru devoir déduire l'action calorifique de l'intensité du courant et de la résistance du fil; j'ai déterminé directement, par expérience, l'intensité lumineuse du fil métallique parcouru par un courant électrique et placé dans le vide, ainsi que la quantité de chaleur émise pendant l'unité de temps au moyen d'une pile thermo-électrique.

L'appareil qui a servi à ces observations est représenté fig. 4; il se compose d'une cloche N reposant sur la platine d'une machine pneumatique et munie de trois tubulures E, F, N. Par la tubulure supérieure N, ainsi que par une des tubulures latérales E, on fait pénétrer deux tiges en cuivre CD, AB, de gros diamètre, au moyen de boîtes à cuir; la seconde de ces tiges est recourbée en Bb, et à l'aide des pinces a, b, on peut tendre, dans l'intérieur de la cloche, un fil de platine ab de 7 à 8 centimètres de longueur, de façon à ce qu'il se maintienne dans une position verticale. Les deux tiges AB CD servent à transmettre un courant électrique au travers du fil ab de manière à porter

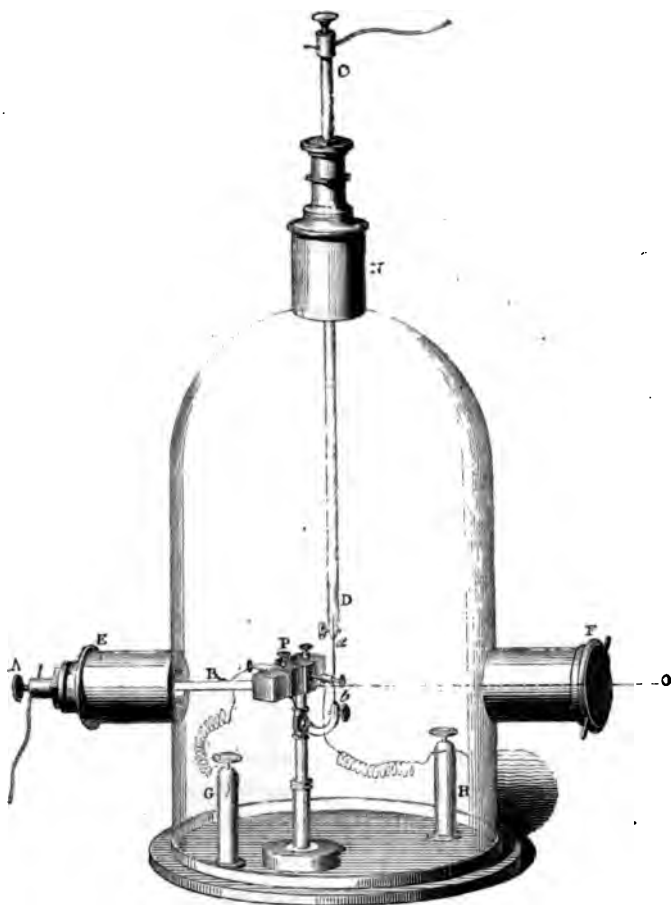


Fig. 4.

ce dernier au rouge, et le diamètre de ces tiges est tel (7 à 8 millimètres) qu'elles ne s'échauffent pas par l'action du courant, si ce n'est près des extrémités *a* et *b*.

Pour observer l'émission de lumière, on a fixé, devant la tubulure *F* une glace à faces parallèles, qui permet, dans la direction *FO*, de mesurer au moyen du photomètre représenté fig. 3, l'intensité des rayons lumineux qui émanent du fil incandescent. Pour étudier le rayonnement calorifique, on a placé auprès du fil une pile thermo-électrique *P* de 25 éléments, de manière que le fil soit éloigné de la face de la

pile de 4 à 5 centimètres au moins et de 8 à 10 au plus. Deux petites colonnes en cuivre G et H, qui traversent des morceaux d'ivoire fixés dans la platine de la machine pneumatique, mettent en relation les deux pôles de la pile thermo-électrique avec les deux extrémités d'un appareil rhéométrique placé à une certaine distance de la cloche.

A l'aide de la machine pneumatique, qui est en relation avec la platine, on peut raréfier l'air jusqu'à 1 millimètre de pression de mercure. Lorsqu'on chauffe le fil *ab* par le courant d'une pile, on fait passer ce même courant dans le fil d'une boussole des sinus, de façon à connaître l'intensité du courant depuis le moment où le fil s'échauffe jusqu'à l'instant où il fond par suite d'une incandescence trop vive. D'un autre côté, au moyen d'un rhéostat introduit dans le circuit et de la boussole des sinus, on peut déduire, dans chaque cas, la résistance du fil *ab* par rapport à celle du circuit total, en prenant pour unité la résistance du fil au commencement de l'expérience.

Quant au courant thermo-électrique développé dans la pile P et provenant de la différence de température des deux faces de cette pile, laquelle dépend de la chaleur émise directement par les différents points du fil *ab*, il passe dans le fil enroulé autour d'un magnétomètre, de sorte que les indications de ce dernier appareil donnent immédiatement l'intensité du courant électrique produit. On observait l'intensité du courant thermo-électrique, lorsque, le courant qui circule dans le fil *ab* étant constant, l'indication du magnétomètre était constante. Or, comme l'état stationnaire était atteint lorsque la pile thermo-électrique perdait par rayonnement dans l'enceinte autant qu'elle recevait du fil *ab*, et que, la différence de température des faces de la pile étant peu considérable, on pouvait admettre sensiblement que cette perte était proportionnelle à l'excès de leur température sur celle de l'air ambiant, dès lors les indications du magnétomètre qui exprimaient l'intensité du courant étant également proportionnelles aux différences de température des faces de la pile, ces indications donnaient la mesure de la quantité de chaleur émise dans l'unité de temps par le fil incandescent *ab*. Du reste, les résultats qui vont être indiqués plus loin servent à montrer qu'il en est sensiblement ainsi.

On pouvait craindre que, l'expérience ayant quelque durée, la température de la cloche vint à s'élever peu à peu et que la régularité des indications du magnétomètre n'en fût atteinte; mais, ayant opéré en enveloppant la pile thermo-électrique P dans une seconde enveloppe

de métal poli, on n'a pas trouvé de différence appréciable, ce qui montre que l'élévation de température de l'enceinte se fait sentir peu près de la même manière sur la cloche et dans la pile thermo-électrique, mais que les indications de cette dernière, pour une intensité déterminée d'un courant électrique qui passe dans *ab*, n'en sont pas très-notablement affectées.

Du reste, en face de la pile thermo-électrique P et de l'autre côté du fil incandescent *ab*, on a placé une lame de cuivre poli pour éviter toute émission calorifique des parois en verre de la cloche sur la pile.

Les résultats suivants ont été obtenus avec un fil de platine dont on a déterminé à chaque instant la résistance à la conductibilité en prenant, dans chaque cas, non-seulement la déviation donnée par la boussole des sinus quand le fil était dans le circuit, mais encore la déviation quand, toutes choses restant égales d'ailleurs, le fil de platine était placé hors du circuit. On obtenait aisément ce résultat en joignant les deux tiges A et C de l'appareil au moyen d'un fil de cuivre très-gros et très-court.

Fil de platine de 0^{mm}, 215 de diamètre. — Pile à acide nitrique de 4 couples.

ÉLÉMENTS RELATIFS AU FIL DE PLATINE PARCOURU PAR UN COURANT ÉLECTRIQUE.					DÉVIATION donnée par le magnétomètre ou intensité du courant thermo-électrique.	RAPPORT de la déviation M au produit P.	OBSERVATIONS.
Angle de la boussole des sinus.	Sinus ou intensité du courant.	Sinus carré.	Résistance à la conductibilité du fil de platine.	Produit P de la résistance par le carré de l'intensité du courant.			
20.26'	3,4912	12,1883	0,0838	1,0214	11,3	11,063	Le fil de platine commence à rougir.
24.10	4,0939	16,7600	0,0990	1,6592	19,1	11,518	
26.50	4,5139	10,3760	0,1320	2,6896	31,0	11,626	
28.40	4,7997	23,0370	0,1550	3,5707	37,8	10,586	
33. 1	5,4488	29,6900	0,1787	5,3056	58,9	11,101	
37.30	6,0876	37,0590	0,1988	6,6875	87,0	13,048	Quand le magnétomètre marque 120, le fil de platine fond.
40.53	6,5452	42,8400	0,2125	9,1035	104,5	11,479	
45.25	7,1223	50,7270	0,2505	12,7071	134,0	10,624	

On voit, d'après cela, que les nombres qui représentent l'intensité du courant thermo-électrique sont sensiblement proportionnels au produit du carré de l'intensité du courant traversant le fil de platine par la résistance à la conductibilité de ce fil. Or, si l'on remarque que la quantité de chaleur développée à chaque instant dans le fil est précisément proportionnelle à ce produit, on doit en conclure que les intensités du courant thermo-électrique données par la pile thermo-électrique sont directement proportionnelles aux quantités de chaleur qui sont dégagées dans le fil de platine incandescent pendant l'unité de temps, mais pourvu que ce dernier fil soit placé dans le vide.

Ainsi l'on peut considérer l'intensité du courant thermo-électrique comme indiquant la quantité de chaleur développée par un courant électrique, pendant l'unité de temps, dans le fil de platine placé dans le vide; en évaluant donc cette intensité quand le courant électrique varie, puis, d'un autre côté, en déterminant, à l'aide du photomètre l'intensité lumineuse des rayons d'une réfrangibilité déterminée, des rayons rouges par exemple, on peut comparer l'émission de chaleur avec l'émission de la lumière rouge.

La lumière qui émane du fil traverse une plaque de verre à faces parallèles et est absorbée en faible proportion par cet écran; mais les rapports des quantités de lumière émises restent les mêmes quand le fil est plus ou moins incandescent.

On a vu, dans le paragraphe précédent, que la loi d'émission de la lumière homogène par le platine était assez régulière pour que l'on pût déduire la température de ce corps de l'intensité de la lumière émise, pourvu que certaines circonstances relatives à la source lumineuse fussent déterminées à l'avance. D'après cela, il semble que l'on puisse avoir à chaque instant la température du fil de platine. Mais il faut admettre alors que tous les points du fil incandescent ont simultanément la même température à l'intérieur et à l'extérieur, ce qui n'est probablement pas; il est possible, au contraire, que les points à l'intérieur du fil aient une température plus élevée que celle de la surface qui rayonne. Le nombre que l'on détermine de cette manière doit donc se rapporter à la surface extérieure du fil. Ce qui tend à le faire croire, c'est que si l'on cherche, en graduant l'intensité du courant électrique qui traverse un fil métallique d'argent ou d'or, quelle est l'intensité lumineuse à l'instant de la fusion, au lieu de déduire de cette donnée la température de fusion de ces métaux, on arrive à des valeurs trop faibles, comme

je m'en suis assuré. Il est donc probable que pour le platine il est également ainsi. D'après cela, le nombre auquel on est conduit par ce moyen pour déterminer la température de fusion du platine doit être inférieur à celui qu'on devrait avoir.

Si l'on compare seulement la quantité de chaleur M , émise pendant un intervalle de temps, à l'intensité de la lumière émise par les rayons de couleur homogène, on reconnaît qu'à partir de la limite de 480 à 490°, à laquelle les rayons lumineux commencent à être émis, l'intensité lumineuse des rayons croît beaucoup plus rapidement que la quantité de chaleur, sans qu'il y ait aucune loi simple qui lie ces deux quantités l'une à l'autre. Entre les limites des expériences, si l'on nomme m la quantité de chaleur émise au moment où le corps devient lumineux on aurait sensiblement :

$$I = B(M - m)^3,$$

B étant un coefficient constant. D'après les résultats des expériences, on aurait $\log \frac{1}{B} = 5,42379$, et l'on trouve qu'au delà de 500° l'intensité lumineuse des rayons rouges croîtrait presque aussi rapidement que le cube de la quantité de chaleur émise. Il est évident que si l'on pouvait estimer la quantité totale de la lumière émise, cette augmentation serait plus rapide encore, puisque à mesure que la température s'élève de nouveaux rayons lumineux s'ajoutent à ceux qui sont émis à une température plus basse.

S'il est possible de comparer les intensités de la lumière émise à différentes températures par un corps incandescent, alors que l'on s'attache qu'aux rayons de même réfrangibilité, on ne peut plus effectuer cette comparaison quand on veut déterminer la quantité totale de lumière émise, car cette lumière change de nuance à mesure que la température s'élève. Entre 500° et 550°, le corps incandescent rouge très-sombre, puis aux rayons rouges s'ajoutent des rayons orangés et jaunes quand la température augmente; vers 916°, à la fusion de l'argent, la teinte est jaunâtre et elle devient plus blanche près la fusion de l'or. Cependant, entre certaines limites, de 800° à 1100°, mettant un verre jaune très-clair devant la lampe qui sert de source lumineuse de comparaison, on peut jusqu'à un certain point comparer entre elles les intensités lumineuses du platine incandescent placé au lieu du tube en terre ou en porcelaine échauffé; les résultats obtenus laissent toujours de l'indécision en raison du changement de nuance

rayons émis, mais néanmoins j'en citerai quelques-uns pour montrer que depuis le rouge naissant l'intensité lumineuse croît beaucoup plus vite que lorsqu'on opère à l'aide des rayons d'une seule réfrangibilité, surtout dans les environs de 500°.

Les résultats suivants ont été obtenus en portant au rouge une lame de platine placée dans le tube de l'appareil représenté fig. 2, page 72, et en mesurant la température au moyen du pyromètre thermo-électrique :

	PHOTOMÈTRE.			MAGNÉTOMÈTRE.		
	Angle mesuré sur le photomètre.	Log. I ou logarithme de l'intensité lumineuse.	Intensité lumineuse I.	Déviaton observée.	Déviaton par rapport à celle qui a lieu à 100°.	Température.
Expérience du 26 mai 1861. (Comparaison de toute la lumière émise par une lame de platine incandescente.) Verre jaune clair devant le photomètre. Résultats moyens entre les observations faites pendant l'élevation et pendant l'abaissement de la température.	1°25'	0,7862016	6,11	161,84	1112,46	704,7
	5.15	1,9228576	82,72	212,60	1376,85	862,0
	16.50	2,9235632	838,62	255,05	1657,13	978,4
	35.15	3,5225702	3331,00	290,32	1881,27	1066,7
	50.50	3,7789530	6011,10	316,64	2051,95	1131,6
	90	4	10000	326,62	2116,50	1155,6
Expérience du 30 mai 1862. (Idem.)	1.53	1,0282613	10,67	176,27	1142,23	758,4
	4.41	1,8220890	66,95	206,92	1340,80	846,6
	8.54	2,3798974	239,83	235,93	1528,83	926,0
	22,06	3,1511304	1416,20	270,80	1754,78	1017,5
	35,08	3,5198817	3310,40	295,23	1913,09	1079,2

Les intensités lumineuses n'ont pas été observées avec le photomètre disposé ainsi qu'on l'a dit plus haut; on a fait varier l'intensité de la lumière de la lampe au moyen des prismes mobiles de Nicol, et l'on a reçu en totalité, dans l'autre lunette, la lumière émise par le corps incandescent. Dans ce cas, le plus petit angle mesuré sur le cercle divisé correspond à la plus faible intensité lumineuse, et l'angle de 90° au maximum que peut comporter l'appareil. On a opéré dans chaque cas

	PHOTOMÈTRE.			MAGNÉTOMÉTRI		
	ANGLE α depuis le croi- sement des prismes de Nicol.	LOGARITHME de I.	INTENSITÉ lumineuse I.	Dévi- ation observée.	Dévi- ation par rap- port à celle qui a lieu à 100°.	
30 déc. 1861. LUMIÈRE VERTE.	Fusion de l'arg. 50°0'	0,2231112	1,72	256,0	1500,24	9
	30.55	0,5784274	3,70	301,2	1610,02	9
	22. 5	0,8497288	7,08	315,8	1769,85	10
	15.35	1,1416598	13,86	337,4	1855,69	10
	11.35	1,3945030	24,80	355,5	1982,56	11
	8. 2	1,7093018	51,20	393,5	2088,92	11
	5.10	2,0910018	123,52	418,0	2312,21	12
	4.25	2,2269164	168,61	433,0	2456,17	12
à janvier 1862. LUMIÈRE BLEUE.	Fusion de l'arg. 90'	0	1	253,9	1504,24	9
	66.20	0,0763074	1,19	326,0	1895,68	10
	53.00	0,1953028	1,57	336,0	1990,46	11
	47.30	0,2647382	1,84	341,3	2021,86	11
	35.25	0,4738658	2,98	347,0	2055,63	11
	30.37	0,5858532	3,85	364,8	2161,08	11
	26.22	0,7047562	5,07	372,5	2206,69	11
	23.20	0,8044546	6,37	381,5	2260,00	12
	19.55	0,9353754	8,62	392,0	2322,21	12
	16.17	1,1040504	12,71	399,0	2363,68	12
	12.35	1,3236376	21,07	415,0	2458,46	13
	10.15	1,4904356	31,58	433,6	2568,65	13
	9	1,6113352	40,86	453,0	2683,57	13
			456,0	2701,35	13	

On voit, d'après ce tableau, que, malgré des irrégularités grandes qu'avec les rayons rouges, les différences entre les logari-
thmes des intensités lumineuses sont sensiblement proportionnelles au
différences des températures des valeurs calculées. Les rapports qui
ont la valeur b sont en moyenne :

Pour les rayons verts. 0,00591,

Pour les rayons bleus. 0,00715.

D'après cela, une formule analogue à la formule (1) donner
les intensités lumineuses dans les deux séries d'expériences précé-
dentes mais il faudrait prendre alors pour θ un nombre un peu supé-
rieur à 500°, car ce n'est qu'après cette température que les corps incan-
descents commencent à émettre des rayons d'une réfrangibilité plus g-
rande que le rouge.

On peut reconnaître que la valeur du rapport b augmente avec

Température.	Intensité totale de la lumière émise.
800.	0,1291
900.	0,7528
916 (fusion de l'argent).	1
1000	4,3748
1037 (fusion de l'or).	8,3887
1100.	25,4106
1157 (fusion du cuivre).	69,2649
1200.	146,9205

admet que la loi indiquée plus haut se continue au delà de cette limite, on aurait :

à 1500.	28900. . .
à 2000.	191000000. . .

est probable qu'au delà de 1200° l'intensité lumineuse ne croît pas suivant la même loi.

en représentant par l'unité l'intensité de la lumière émise au moment de la fusion de l'argent, par un corps tel que le platine ou un oxyde de magnésie ou de chaux placé à côté, à 600° il n'y a encore que les 3 millièmes de cette intensité lumineuse; à 700° les 2 dixièmes; à 800° le $\frac{1}{8}$ environ, et à 900° les $\frac{3}{4}$. Lors de la fusion de l'argent, l'intensité lumineuse par irradiation serait plus de 8 fois plus forte que lors de la fusion de l'argent, et lors de la fusion du cuivre 69 fois plus forte; à 1500° cette intensité deviendrait 147 fois plus forte, à 2000°, dans l'hypothèse, près de 29000 fois, et à 2000°, limite des observations, le charbon polaire positif d'une pile, comme on le verra dans ce chapitre, 191 millions de fois; mais ces deux derniers nombres supposent que la loi d'accroissement de l'intensité lumineuse se continue au delà de 1200°, ce qui n'est pas prouvé.

*Raison des pouvoirs éclairants des différentes sources de lumière.
Unité lumineuse. Photomètres divers.*

Si la lumière se trouvait uniformément répartie dans toute l'étendue d'une source lumineuse, il suffirait de connaître l'intensité d'un point quelconque, c'est-à-dire l'éclat relatif à cette partie, ainsi que la distance de la source lumineuse, et le produit de ces deux quantités donnerait l'intensité lumineuse.

tités donnerait la quantité de lumière émise. On pourrait alors servir d'un photomètre analogue à celui qui a été décrit plus haut page 75, et qui conduit très-simplement à cette détermination. Mais comme l'intensité lumineuse est variable dans les différents points, faut se borner à chercher la somme totale de lumière reçue à une distance déterminée, c'est-à-dire l'éclairement communiqué à une surface d'une étendue donnée, lequel peut servir à mesurer les pouvoirs éclairants des différentes sources.

Dans l'un et l'autre cas un des points essentiels est le choix d'une unité lumineuse qui soit toujours identique à elle-même; c'est une question qui a beaucoup occupé les physiciens et qui n'est pas encore résolue aujourd'hui. On se borne généralement à rapporter les quantités de lumière à celle qui serait donnée par une bougie stéariq brûlant en une heure 10 grammes de matière ou par une lampe Carcel brûlant à l'heure 42 grammes d'huile de colza épurée, mais plus à cette dernière source lumineuse. En effet, la lumière donnée par une bougie peut dépendre de la pureté de la matière avec laquelle elle est formée, de sa grosseur et des dimensions de la mèche; ainsi dans les expériences de Pecllet, faites il y a une trentaine d'années, le rapport de l'intensité lumineuse de la lampe Carcel à celle d'une bougie était 7, tandis que maintenant avec les bougies dont on fait usage ce rapport est compris entre 8 et 9. Quant à l'huile de colza épurée, on peut toujours la considérer comme à peu près identique à elle-même; et c'est pour ce motif que la flamme de la lampe modérateur ou du bec Carcel avec une mèche de 30 mill. de diamètre brûlant 42 grammes d'huile à l'heure est généralement prise pour unité. Quand on opère avec une bougie ou une lampe qui brûlent un peu moins ou un peu plus de matière, comme entre certaines limites les quantités de lumière données par une même source sont sensiblement proportionnelles aux quantités de matière brûlée, on peut, par une proportion, trouver les intensités lumineuses qui seraient données par les nombres précédents.

Pour comparer les différents degrés de clarté, on s'en rapporte habituellement aux effets produits sur la vue, et quand cette comparaison a lieu entre deux surfaces éclairées dont l'intensité n'est pas très-forte à l'œil, dont la sensibilité est très-grande, peut assez bien juger des différences d'intensité. Dans la seconde partie de cet ouvrage il se questionne des effets chimiques ou calorifiques de la lumière qui, dans certaines circonstances et pour les lumières de même composition

peuvent servir de terme de comparaison aux intensités lumineuses.

Les premières expériences un peu précises sur la photométrie sont dues à Bouguer et datent de 1729, époque de la publication de son *Traité sur la gradation de la lumière*, dont il a été question dans les *Préliminaires*, page 2. Il compara les intensités lumineuses de deux lumières, par l'éclairage de deux surfaces juxtaposées et plaça les lumières à des distances inégales des écrans de façon à amener leur égalité d'illumination; le rapport des carrés des distances respectives des Lumières aux écrans est celui des intensités lumineuses. Comme il a trouvé qu'une lumière qui est 64 fois plus forte qu'une autre peut faire disparaître celle-ci, la limite de sensibilité de son appareil est telle que l'on peut avoir les rapports des intensités à $\frac{1}{64}$ près. Masson a montré, comme on le verra dans le livre V, que cette limite pouvait être dépassée et que quelquefois elle pouvait être portée à $\frac{1}{120}$.

Rumford (1) a proposé une méthode très-commode et plus exacte que la précédente, et qui, convenablement employée, est une des plus sensibles dont on puisse se servir. Elle est fondée sur l'égalité des ombres projetées par l'interposition d'un corps opaque entre les deux lumières à comparer et un écran blanc éclairé en même temps par les deux lumières. Supposons qu'il s'agisse de comparer le pouvoir éclairant d'une lampe L et d'une bougie l, fig. 5 : devant l'écran en papier CD, dans une chambre obscure, on place une tige opaque AB, de forme cylindrique, et l'on dispose les deux lumières de manière à projeter sur l'écran deux ombres MN, mn, très-rapprochées l'une de l'autre, et de façon que l'inclinaison des rayons incidents l A m, L A M soit la même. On recule alors la flamme la plus vive L, ou l'on approche celle qui l'est moins, jusqu'à ce que les deux ombres paraissent de même intensité; si l'on remarque que l'ombre de chaque lumière est éclairée par l'autre lumière, et que le reste de l'écran reçoit la somme des clartés des deux lumières, on voit que l'égalité des ombres indique l'instant où chaque lumière donne la même clarté à une étendue de même surface de l'écran. Ce point atteint, le rapport du carré des distances des lumières L et l à l'écran donne le rapport des pouvoirs éclairants des lumières.

(1) *Philosoph. transactions*, t. LXXXIV, p. 67.

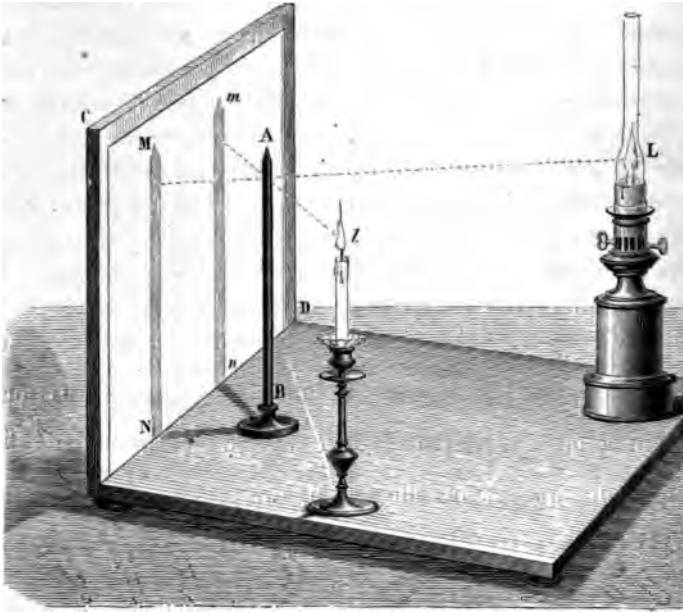


Fig. 5.

Cette méthode est très-sensible, pourvu que les lumières à ne soient pas d'une étendue trop grande et trop rapprochées et que les deux ombres soient amenées à être très-près l'une de l'autre ; il faut aussi qu'elles ne diffèrent pas beaucoup en couleur, la différence de nuance des deux ombres est très-facile à saisir ; dans ce cas particulier, aucun des procédés photométriques ne peut donner des résultats précis. Les avantages de cette méthode, sa simplicité et la promptitude avec laquelle on opère la rendent très-utile.

Elle a été modifiée comme il suit par M. Foucault, qui a construit un appareil portatif servant à comparer plus facilement et plus exactement l'illumination des ombres projetées sur un écran transparent. L'appareil est représenté fig. 6. Une boîte AMNB peut être ouverte par sa partie antérieure AB, et porte au fond MN une ouverture qui est fermée avec un écran translucide. Cet écran est formé par deux plaques de verre contenant entre elles une couche très-mince d'amidon ; par dépôt au moyen de la lévigation ; il permet d'observer par

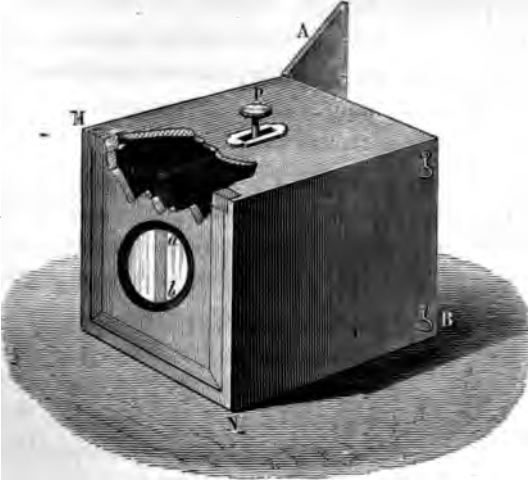


Fig 6.

rence l'illumination produite par les lumières à comparer que l'on place au de là de la partie ouverte AB.

Dans l'intérieur de la boîte se trouve une planchette ou une lame métallique qui, à l'aide d'un bouton P peut être approchée ou éloignée de l'écran *ab*. Cette planchette est destinée, comme la tige dans la méthode de Rumford, à donner

deux ombres sur l'écran *ab*, au moyen des deux lumières à comparer, qui sont l'une à droite l'autre à gauche du prolongement du plan de la planchette, en avant de la boîte et au delà de AB.

Pour que ces deux ombres soient séparées par des bords très-tranchés, les deux côtés de la planchette intérieure, comme les parties intérieures de la boîte, sont garnis de drap noir; en outre, une lame plate métallique donne une certaine largeur au bord de la planchette qui regarde l'écran. On voit alors que si les deux lumières à comparer sont en avant, en faisant mouvoir le bouton P, on peut approcher ou éloigner les deux ombres qui se projettent sur l'écran *ab*; on peut donc faire qu'elles soient séparées par un espace plus sombre, ou bien que les deux images empiétant l'une sur l'autre, elles soient séparées par un espace plus clair, ou même qu'elles soient tangentes l'une à l'autre. C'est même en se plaçant de façon à rendre tangents les deux demi-cercles lumineux; que l'on peut arriver à rendre les deux surfaces également éclairées. Par ce moyen la comparaison des intensités lumineuses est facile et précise, et d'un autre côté l'œil n'est pas impressionné par un espace plus fortement éclairé autour des ombres, comme dans l'appareil simple de Rumford. On prend alors les distances des lumières à l'écran, et le rapport des carrés de ces distances donne celui des pouvoirs éclairants des deux sources lumineuses.

M. Bunsen a construit un photomètre dont la disposition est assez

simple; il est fondé sur le principe suivant : supposons une feuille de papier blanc portant une partie plus claire au milieu, comme un tache faite avec de l'acide stéarique ou avec de la cire ; si cette feuille de papier est placée entre les deux lumières que l'on veut comparer de manière que chacune des faces se trouve éclairée **seulement** par les faisceaux lumineux qui émanent de la **source placée vis-à-vis** d'elle, si les deux foyers éclairent **également** la feuille de papier, les deux faces devront présenter le même aspect. Dans ce cas, l'expérience indique la disparition à peu près complète de la tache ; à ce moment en effet, la quantité de lumière réfléchi**e** par **chacune** des faces est égale à celle qui lui arrive par **transmission**.

La disposition représentée fig. 7 **permet de comparer aisément** le



Fig. 7.

deux images de chaque côté d la feuille de papier. Cette feuille est placée dans un petit cadre e bois AB; MN et M'N' sont deu miroirs, formant une angle obtu divisé par le plan AB en deux parties égales. L'observateur plac à la partie antérieure voit dor par réflexion, de chaque côté, le deux faces du papier. Les deu lumières à comparer sont situés

l'une à droite, l'autre à gauche de AB, et chaque face ne peut être éclairée que par une seule lumière ; on fait varier les distances de ce lumières jusqu'à ce que la tache centrale disparaisse, et le rapport du carré des distances des lumières à l'écran AB donne le rapport de intensités lumineuses comme avec les photomètres précédents.

On a apporté quelques modifications à ce procédé, mais seulement au point de vue de la facilité avec laquelle on peut mesurer les distances des flammes aux faces de l'écran transparent.

Les phénomènes de la double réfraction, de la polarisation et de interférences peuvent être invoqués dans la comparaison des pouvoirs éclairants, et Arago a décrit plusieurs appareils permettant d'atteindre ce but ; c'est à lui qu'on doit les principes des différentes méthodes photométriques fondées sur cette partie de l'optique (1). E

(1) Arago, *Œuvres diverses*, t. X, p. 196. *Comptes rend. de l'Acad.*, t. 20, 21 et 30

Étal chaque série de recherches exige l'emploi d'un appareil disposé en vue de ces recherches, afin qu'il soit sensible entre les limites d'intensités lumineuses que l'on veut comparer entre elles. Plusieurs physiciens ont donné des dispositions fondées sur les effets de double action et de polarisation, mais il n'est pas nécessaire de les décrire sur le sujet dont il s'agit ici; il suffira d'indiquer, comme appareils proposés en vue de recherches spéciales, après les appareils d'Arago et de Babinet (1), le photomètre de M. Zöllner, dont il a déjà été question précédemment, page 88, et celui de M. Wild (2). Le photomètre que j'ai décrit au commencement de ce chapitre, page 74, et qui est représenté fig. 3, pourrait être employé dans la

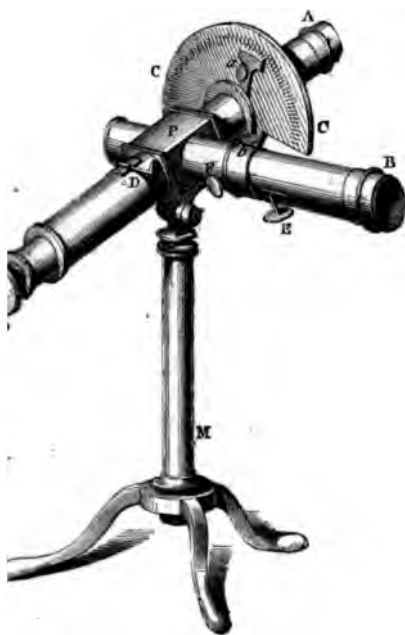


Fig. 3.

comparaison de l'éclat de deux surfaces de même étendue des deux lumières, pourvu que la teinte de ces lumières fût peu différente. Ainsi, soit à chercher le rapport entre l'intensité des rayons rouges d'une lampe L_r et celle d'une autre source L_r : On vise la source L_r avec la lunette droite A, et L_r avec la lunette de côté B, puis l'on tourne le prisme mobile de la lunette droite avec l'alidade a jusqu'à ce que l'égalité lumineuse soit établie. Si l'on appelle a la fraction de lumière qui passe au travers de la lunette droite A et des verres colorés quand les prismes de Nicol sont parallèles, α étant l'angle compté depuis la position du croisement de

prismes, et b la portion de lumière qui traverse la lunette placée de côté B, on aura :

$$a L_r \sin^2 \alpha = b L_r$$

Comptes rend. de l'Acad. des sciences, t. 37, p. 774.

Ann. de Chimie et de physique, 3^e série, t. LXIX, p. 238, 183.

Si l'on change de place les sources I et L en visant L avec la lunette droite et I avec la lunette de côté, en appelant θ l'angle des prismes de Nicol nécessaire pour l'égalité lumineuse, on aura :

$$a L_r \sin^2 \theta = b I_r.$$

Ces deux équations étant divisées termes à termes, il vient, en réduisant :

$$\frac{I_r}{L_r} = \frac{\sin \theta}{\sin \alpha}.$$

Ainsi, ce rapport est indépendant des valeurs a et b . Dans la plupart des expériences cette évaluation n'est pas nécessaire, et il suffit de comparer les lumières que l'on étudie à la même source lumineuse vue par le même côté du photomètre.

Les appareils dont il vient d'être question permettent de juger de l'égalité d'illumination de deux surfaces également éclairées avec une approximation qui varie de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{20}$, mais pourvu que l'intensité lumineuse ne soit pas trop vive et que les lumières aient la même nuance. Quand les teintes sont différentes, ces méthodes cessent d'être précises, et l'on peut d'autant plus se tromper dans la comparaison des surfaces éclairées que les différences sont plus grandes ; on ne peut plus compter alors sur aucune évaluation exacte.

§ 5. *Lumière émise par les solides, les liquides et les gaz. Pouvoir éclairant des flammes : bougies, lampes, gaz d'éclairage, chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, lampe au magnésium, arc voltaïque.*

Si les corps deviennent lumineux à partir de la même limite de température, leur état physique peut influencer beaucoup sur l'intensité de la lumière qu'ils émettent ; s'ils sont opaques et qu'ils restent solides pendant l'élévation de température, la quantité de lumière rayonnée comme on l'a vu dans le § 3, est peu différente pour certains d'entre eux dans les mêmes conditions de température ; pour d'autres, qui se couvrent d'oxydes, comme le cuivre, on a vu que le pouvoir d'irradiation est moindre. Cependant, la composition de la lumière émise par les solides incandescents est la même et le spectre lumineux qu'ils donnent par réfraction est continu et sans apparences de raies noires ou brillantes (1).

(1) MM. J. Bahr et Bunsen ont trouvé dernièrement que l'erbinc placée dans la flamme

Si les corps sont transparents, soit par eux-mêmes à l'état solide, soit en raison d'une couche d'oxyde dont ils se recouvrent, soit enfin par la fusion qu'ils éprouvent lorsqu'ils sont échauffés, leur pouvoir d'irradiation peut être beaucoup moindre. Ce résultat du reste est une conséquence de l'égalité entre le pouvoir émissif et le pouvoir absorbant des corps à température égale; quand ceux-ci sont transparents, l'absorption lumineuse étant plus faible leur pouvoir émissif doit être moindre. Il résulte de là une différence très-grande dans l'intensité de la lumière émise par les corps solides ou liquides à égalité de température; mais avec les liquides comme avec les solides la réfraction donne une image prismatique continue.

Dans quelques circonstances l'intensité lumineuse paraît changer lors du changement d'état des corps. C'est à un effet de ce genre que l'on doit rapporter l'observation suivante, due à M. Gaudin : la silice a un très-faible pouvoir d'irradiation en raison de sa transparence, et placée dans la flamme d'un chalumeau à gaz oxygène et hydrogène elle arrive à son point de fusion sans éclairer sensiblement; c'est au moment où elle fond qu'elle brille subitement avec vivacité. Pour faire aisément l'expérience, on présente à la flamme du chalumeau un fil de cristal de roche fondu préalablement en sphère à chaque extrémité; l'une des sphères étant dans la flamme, tout le fil reste obscur, mais au moment où la sphère qui est au milieu de la flamme vient à fondre, celle-ci se trouve vivement illuminée, et la sphère qui est dans l'air brille également d'un grand éclat par un effet de réflexion lumineuse intérieure.

Arago (1) a montré que la lumière émise par tout corps incandescent solide ou liquide, même quand le corps est opaque et que sa surface n'est pas complètement polie, offre des traces de polarisation quand elle est émise sous un angle suffisamment petit, en sorte qu'en pénétrant dans son polariscope chromatique elle se décompose en faisceaux colorés. Les substances solides qu'il a ainsi étudiées sont le fer forgé et le platine, et comme liquides la fonte de fer et le verre en

d'un chalumeau donne par irradiation des rayons lumineux qui étant réfractés produisent un spectre discontinu à raies brillantes; si la substance ne donne aucune trace de volatilisation, ce serait le premier exemple d'un corps solide incandescent présentant un spectre discontinu. On reviendra sur ce sujet dans le livre suivant, à propos de l'analyse de la lumière. (*Ann. der Chemie und Pharmacie*, t. 137, p. 1, N^o série, t. 61. — *Ann. de Chimie et de physique*, 4^e série, t. 9, page 484.)

(1) Arago, *Astronomie*, t. II, p. 102.

fusion. Quant aux gaz enflammés, comme le gaz d'éclairage, ils émettent des rayons qui sont à l'état naturel quel que soit l'angle d'émission. Ces effets, comme on l'a vu dans les *Préliminaires*, lui ont permis d'arriver à cette conclusion que la lumière émise par les bords du soleil étant à l'état naturel provient d'une atmosphère gazeuse et non pas d'une couche lumineuse solide ou liquide.

On peut conclure de ces résultats que la lumière émise par les solides et les liquides incandescents ne se trouve pas limitée à la surface extrême qui les termine, mais qu'elle provient d'une certaine profondeur au-dessous de cette surface, car c'est par la réfraction qu'elle éprouve quand elle est émise très-obliquement que les effets de polarisation deviennent sensibles. Si elle ne traversait pas une couche d'une certaine épaisseur, quoique très-petite elle n'offrirait aucune trace de polarisation.

Les gaz étant chauffés au-dessus de 500° deviennent lumineux comme les solides et les liquides. Les flammes en effet ne sont autres que des masses gazeuses portées à l'incandescence par suite de la combustion de certaines substances avec l'oxygène ou avec un autre principe comburant.

Les flammes, comme les gaz, étant transparentes ne doivent pas être aussi lumineuses que les solides et les liquides, à température égale, et même en général plus la transparence est grande, moins est grande la quantité de lumière qu'elles donnent. On verra également dans le livre suivant que les images prismatiques que présente leur lumière sont discontinues et parcourues par des raies ou lignes brillantes, au lieu d'être continues comme celles données par les solides et les liquides incandescents. Mais dans ce chapitre, comme il n'est question que de l'intensité des effets produits, on doit seulement examiner comment les effets varient suivant la nature des matières volatilisées et incandescentes qu'elles renferment.

La flamme provenant de la combustion de l'hydrogène pur est très-peu lumineuse, car elle ne donne lieu qu'à la production d'un corps transparent, c'est-à-dire de la vapeur d'eau; mais si l'on plonge dans l'intérieur de cette flamme un corps opaque comme le platine, la chaux, la magnésie, aussitôt ce corps solide s'échauffe et donne une lumière très-vive.

Si l'hydrogène se trouve mélangé de gaz carbonés, la flamme qu'il produit dans l'air devient par elle-même flamme éclairante par suite de la présence de parcelles charbonneuses qui proviennent de la dé-

composition du gaz et qui brûlent en même temps que lui; si au contraire on a soin de mélanger le gaz avec de l'air atmosphérique avant de le faire brûler, afin que le carbone ne se trouve pas en excès au moment de la combustion, alors la flamme cesse d'être éclairante et sous ce rapport se trouve à peu près dans les mêmes conditions que la flamme du gaz hydrogène pur.

On peut faire une expérience très-démonstrative à l'aide d'un bec de gaz d'éclairage comme ceux qui servent dans les laboratoires et disposé comme le représente la fig. 8, de façon qu'à sa base l'arrivée du gaz combustible ait lieu par une petite

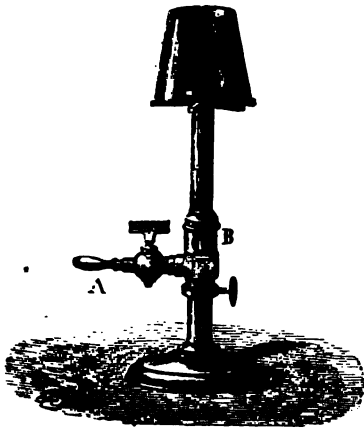


Fig. 8.

ouverture centrale, et celle de l'air à la périphérie par une espace annulaire, dont on peut faire varier l'étendue depuis zéro jusqu'à une certaine limite. Quand il n'y a pas d'arrivée d'air, le gaz d'éclairage brûle en haut avec sa flamme brillante; en tournant l'anneau B, aussitôt l'air circule en même temps que le gaz, se mélange avec lui avant la combustion et la flamme cesse d'être éclairante.

On peut même employer cette flamme bleuâtre pour répéter les expériences consistant à plonger dans son intérieur différentes matières.

Si l'on forme au milieu d'un petit anneau de platine une perle de borax fondu, on peut maintenir le borax en fusion dans la flamme, qui n'acquiert qu'un faible pouvoir d'irradiation en raison de l'introduction de cette substance transparente, d'après ce qui a été expliqué plus haut; mais si l'on substitue au borax fondu un morceau de chaux ou de magnésie, aussitôt l'irradiation se produit avec une vive intensité. Dans ces différents cas la température ne change pas sensiblement, et même ne peut être qu'abaissée par la présence des corps plongés au milieu de la flamme.

Les flammes employées dans l'industrie doivent presque toutes leurs propriétés au pouvoir d'irradiation du carbone; leur intensité lumineuse dépend donc de la quantité qui s'y trouve et de leur température au moment de la combustion. Dans la combustion des chandelles, bou-

gies, huiles grasses et huiles essentielles comme dans celle des gaz provenant de la distillation de la houille, c'est l'irradiation du carbone qui se trouve à un moment donné dans la flamme qui lui donne son pouvoir éclairant; si dans l'éclairage avec les solides et les liquides on arrive à une action assez régulière, avec les gaz d'éclairage les effets sont très-variables en raison de l'influence de leur force élastique, de leur différence de composition et des circonstances diverses qui influent sur leur combustion. D'un autre côté, les températures n'étant pas les mêmes dans tous les points d'une flamme, non plus que les effets chimiques, le pouvoir éclairant n'est pas uniforme dans toutes les parties.

Examinons par exemple la flamme d'une bougie, ou d'un bec de gaz

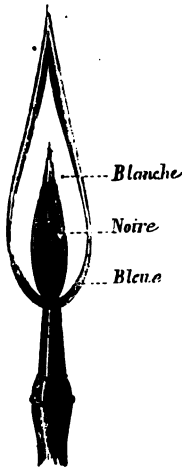


Fig. 9.

fig. 9. A la vue simple, on y reconnaît aisément quatre parties distinctes : 1° le bord inférieur de la flamme formant une belle couleur d'un bleu sombre; 2° un espace conique intérieur, moins transparent et moins lumineux que le reste de la flamme; 3° une zone de lumière plus éclatante que la précédente et environnant l'espace obscur; 4° une couche mince et peu lumineuse entourant les parties précédentes, et dans laquelle se trouve le maximum de chaleur.

Dans la flamme de la lampe à gaz oxygène et hydrogène, c'est-à-dire du chalumeau à gaz hydrogène ces différentes enveloppes ne sont pas aussi visibles cause de la rapidité de la combustion; mais pour le observer il suffit de plonger transversalement dans la flamme un fil fin de platine, qui dans chacune des enveloppes devient d'autant plus lumineux que la température est plus élevée. Si le fil est placé, par exemple à un ou deux millimètres immédiatement au-dessus

de la partie visible de la flamme, il devient rouge blanc, au point par conséquent où il n'existe pas de lumière et où se trouve le maximum de chaleur. On obtient le même effet avec la flamme d'une lampe à alcool.

Pour mieux juger encore de l'éclat de la lumière accusée par chacune des parties ou plutôt des enveloppes d'une flamme d'une bougie ou d'une chandelle, on se sert d'un morceau de toile métallique formé de fils de laiton ayant 100 fils par centimètre carré, de manière à lui donner la forme verticale de la partie de la flamme située au-dessus

la mèche, et on l'introduit dans la flamme de haut en bas en l'implantant dans la mèche au moyen de deux fils. On voit que la partie en contact de la pièce plongée dans la faible flamme extérieure rougit et s'oxyde fortement; la partie contiguë et correspondant à la surface très-lumineuse se recouvre d'une couche épaisse de charbon dont le contour a la forme d'un pain de sucre. Au dedans de cette limite la tôle est noircie et indique l'espace occupé par les gaz et les vapeurs inflammables qui s'échappent par la mèche. Le maximum de chaleur se trouve dans la partie invisible de la flamme, et la plus grande précipitation de charbon a lieu à la surface lumineuse.

On vient de voir que la présence du charbon en ignition explique les différentes apparences des diverses parties d'une flamme; dans la flamme activée par le chalumeau, le point où la chaleur est la plus grande est le centre de la flamme bleue où la combustion est la plus complète.

La lumière obtenue au moyen du mélange des gaz oxygène et hydrogène dont un jet enflammé chauffe jusqu'à l'incandescence un morceau de chaux donne un exemple d'une source lumineuse due à l'irradiation d'un corps solide autre que le carbone, lequel est placé dans une flamme peu éclairante mais dont la température est très-élevée.

L'appareil représenté fig 10 donne une disposition employée pour atteindre ce but. A et B sont deux robinets destinés à recevoir des tubes en caoutchouc; l'un livre passage au gaz oxygène conservé dans un sac en caoutchouc, et qui sort à l'aide d'un poids placé sur le sac,



Fig. 10.

l'autre est mis en communication avec un conduit de gaz d'éclairage les deux gaz sortent par le chalumeau C. Le tube qui se termine en C et dont une section est représentée à côté de l'appareil, est formé de deux parties; l'une centrale, de 3 mill. de diamètre amène l'oxygène; l'autre, annulaire, de 10 mill. de diamètre, conduit le gaz d'éclairage: de sorte que le mélange détonant ne peut se former qu'à près de l'orifice C. Des toiles métalliques sont placées dans les deux tubes de façon à éviter toute explosion à l'intérieur de l'appareil, dans le cas où par des diminutions de pression les gaz viendraient à passer d'un tube dans l'autre par l'orifice C. Ce système de tubes C est mobile et peut tourner ou s'élever de façon à diriger le jet enflammé sur un morceau de chaux ou de magnésie D.

Pour opérer, on commence par ouvrir le robinet du gaz d'éclairage puis ensuite on fait arriver l'oxygène: la flamme est très-peu lumineuse mais quand elle a chauffé une certaine étendue d'un morceau de chaux ou de magnésie D, placé sur un support latéral, aussitôt la partie frappée par le jet devient éblouissante et éclaire l'espace situé en avant de l'appareil.

Cette source lumineuse est assez riche en rayons jaunes et rouges et ne renferme pas les rayons les plus réfrangibles bleus et violets aussi abondamment que la lumière au magnésium ou la lumière émise par l'arc voltaïque dont on va parler plus loin. Mais la facilité avec laquelle on manœuvre l'appareil, quand on peut disposer du gaz d'éclairage, fait qu'on l'utilise fréquemment.

J'ai fait quelques déterminations des quantités de lumière donnée dans l'appareil précédent par un fragment de chaux incandescent comparativement avec la quantité de lumière émanée d'une lampe Carcel brûlant 42 gr. d'huile à l'heure, et j'ai obtenu les résultats suivants en ouvrant au maximum le robinet du gaz hydrogène d'éclairage, le débit était de 3 litres $\frac{1}{2}$ par minute, soit 210 litres par heure. On a alors chargé le sac de gaz oxygène contenant plus de 400 litres, avec un poids de 40 kilogr, et l'on a ouvert le robinet qui donnait issue au gaz de façon à obtenir le maximum de lumière estimée avec le photomètre représenté fig. 6, page 101; ce photomètre, dans ces conditions, montra que cette source lumineuse ne dépassait pas celle de 20 bec Carcel; comme celle-ci vaut de 8 à 9 bougies, en admettant le premier nombre on voit que l'appareil précédent a donné une quantité de lumière pouvant aller au maximum à 160 ou 180 bougies. Cette

ensité peut varier, on le pense bien, avec les dimensions de l'appareil et le débit des gaz ; elle peut même être beaucoup moindre.

La présence d'une matière solide et fixe autre que la chaux, et qui est produite dans la flamme elle-même au moment de la combustion, peut donner lieu à une vive production de lumière. Tel est le cas de la combustion du phosphore et du zinc dans l'oxygène ; tel est aussi surtout le cas de la combustion du magnésium dans l'air et dans l'oxygène. Dans cette dernière circonstance il se forme de la magnésie qui étant un corps solide, opaque et infusible, donne le maximum d'éclat à la flamme ; comme en outre la température due à la combustion du métal est très-élevée, la lumière émise est très-blanche.

Pour faire brûler facilement le magnésium, on a disposé des appareils portant le nom de lampes au magnésium, dans lesquels un mouvement d'horlogerie fait avancer un fil de magnésium au fur et à mesure de sa combustion à une de ses extrémités. La disposition de la lampe représentée fig. 11, est due à MM. Grant et Salomon. La lumière est produite par la combustion dans l'air d'un fil ou d'une lamelle de magnésium à l'extrémité du tube P q ; un réflecteur est disposé de façon à renvoyer d'un même côté la lumière émise. Le cylindre P C contient



Fig. 11.

le mouvement d'horlogerie, qui guidant le fil de magnésium au travers du tube métallique P q le fait avancer en avant du réflecteur ; l'extrémité q est sensiblement au foyer de ce réflecteur, de sorte que si le fil est enflammé à cet orifice, toute la lumière émise dans la combustion du métal est projetée en avant. La clef C sert à

ter le ressort, et le volant R règle la vitesse par laquelle l'appareil avance le fil ; en a se trouve un bouton faisant arrêt.

Il suffit de mettre l'appareil en mouvement, aussitôt qu'on a enflammé

avec une allumette ou une bougie l'extrémité q du fil ou de la lame de magnésium, on prend la lampe à la main, on presse avec le doigt sur le bouton a , et tant que cette pression dure le mouvement fonctionne et le fil de magnésium avance à mesure que l'extrémité consume. Quand on veut faire cesser l'effet lumineux, on arrête le mouvement, et la combustion s'arrête. La magnésie provenant de la combustion du magnésium tombe en avant, et des parcelles voltigent dans l'air; pour éviter cet effet on peut mettre un verre en avant du réflecteur.

Quelquefois on remarque que l'appareil cesse de fonctionner par rupture du fil; pour éviter cet inconvénient, au lieu d'un fil rond de magnésium, on façonne ce métal en lamelles plates et on en place deux l'une sur l'autre; on peut même avec deux tubes tels que Pq , faire avancer deux couples de lames, ce qui augmente l'intensité lumineuse et permet de n'avoir pas d'interruption lors de la rupture d'une lame. M. F. Le Roux, qui a perfectionné cette lampe, a montré qu'on pouvait également y faire brûler un fil de magnésium contenant du zinc.

Les résultats suivants donnent l'intensité de la lumière émise lors de la combustion des fils ou des lames de magnésium dans l'air :

MM. Bunsen et Roscoe (1) ont trouvé qu'un fil de magnésium de 0,297 de diamètre, en brûlant, donne autant de lumière que 74 bougies stéariques. En 1 minute on brûle 0^m,987 de fil ou 0^{gr},1204; si l'on cherche quel serait l'effet qui serait produit en une heure, on trouve qu'une combustion de 9^{gr},760 de métal donnerait pendant ce même temps une lumière continue dont l'intensité serait la même que celle produite par 74 bougies stéariques.

M. Allard a fait à l'administration des phares de Paris plusieurs déterminations du pouvoir éclairant de lampes au magnésium; il a obtenu les résultats suivants, qu'il a eu l'obligeance de me communiquer :

	Consommation des fils, en poids.		Pouvoir éclairant moyen.
	par minute.	par heure.	
Lampe à 2 fils.	0 ^{gr} ,176	10 ^{gr} ,56	22 becs carcel, ou 176 bougies
Lampe à 3 fils.	0 ,454	27 ,26	43 — 344 —

On suppose que le bec Carcel vaut, en nombre rond, 8 bougies; les lampes sont privées de réflecteurs, sans quoi les pouvoirs éclairants

(1) *Annal. der physik. etc.*, Poggendorf, t. 108, p. 266 — 1859. —

ne pourraient être comparés par la méthode des ombres et au moyen des indications données plus haut.

Les consommations ont été différentes, et pour comparer ces résultats entre eux, il faut les ramener à ce qu'ils seraient si la combustion d'un même poids de fil avait eu lieu. On trouve alors que si par heure, dans chaque cas, il n'y avait eu que 10 gr. de métal de brûlé, on aurait pour les intensités lumineuses :

I ^{re} expérience	102 bougies.
Lampe à 2 fils.	177
Lampe à 3 fils.	126

Ces résultats ne s'éloignent pas beaucoup les uns des autres, si l'on remarque que les conditions dans lesquelles la combustion s'est opérée ne sont pas les mêmes. Ils montrent que 10 gr. de fil de magnésium brûlant dans l'air peuvent donner en une heure une lumière soutenue dont l'intensité est équivalente à celle de 100 à 180 bougies stéariques. Si l'on observe qu'une bougie stéarique brûle environ 10 gr. de matière à l'heure, on voit que pour un poids égal de matière consommée, et d'après les dernières évaluations, le magnésium donne environ 150 fois plus de lumière que l'acide stéarique.

Quant au prix de revient de la lumière au magnésium, il varie suivant le prix de fil ; on a d'abord livré ce métal à 1 fr. 20 le gramme ; actuellement on peut l'avoir à 0 fr. 45. Les rubans plats pèsent 0 gr. 8 par mètre, et dans les lampes il s'en déroule 0 mètre, 33 par minute. Quand la lampe est à deux ou à trois fils, la quantité de métal brûlé est double ou triple. D'après ces données, 10 gr. de magnésium coûteraient 4 fr. 50 : comme la quantité de lumière produite équivaldrait en moyenne à celle de 150 bougies, elle serait donc la même que celle qui serait donnée par 1 kil., 500 d'acide stéarique. Mettant le prix de la bougie à 2 fr. 70 le kil., on voit que le prix de revient de l'unité lumineuse dans la lampe au magnésium n'est pas actuellement beaucoup plus élevé que celui de la lumière donnée par les bougies stéariques,

Il est assez difficile de maintenir pendant longtemps la combustion des fils ou des lames de magnésium avec les appareils analogues au précédent ; aussi ne peut-on pas s'en servir pour des actions de quelque durée et dépassant plusieurs minutes. Comme la lumière émise dans la combustion du magnésium renferme en abondance des éléments très-réfrangibles, elle est éminemment propre pour les effets de phospho-

rescence et les actions chimiques; on peut donc l'employer pour la photographie dans des endroits obscurs et dans des salles où l'éclairage efficace serait trop coûteux et même ne serait pas possible par tout autre moyen. Sous ce rapport la lampe au magnésium peut rendre de véritables services, quand on veut une vive lumière pendant quelques instants.

Lorsque la combustion de ce métal a lieu dans l'oxygène, l'intensité lumineuse produite est bien plus grande, M. Bunsen (1) a trouvé que dans ces conditions 0 gr., 1 de magnésium brûle avec un éclat comparable à celui de 110 bougies; comme la surface du magnésium incandescent était de 6 à 8 fois plus petite que la surface brillante de la bougie, on peut donc dire que l'intensité de la lumière que dégage le métal incandescent brûlant dans l'oxygène est plus de 500 fois supérieure à celle de la lumière de la bougie.

La lumière de l'arc voltaïque est due à l'irradiation du carbone commun dans les sources provenant de la combustion des matières carbonacées; mais ici l'élévation de température est due au passage de l'électricité au travers de la vapeur de carbone, ou de l'oxyde de carbone si l'appareil est placé dans l'air. Pour répéter l'expérience de Davy, qui montra la première fois les effets puissants qu'on pouvait obtenir avec l'électricité, on dispose un appareil comme le représente la figure 24, qui sera donnée plus loin, livre V, et dans lequel deux tiges métalliques terminées par des pointes en charbon passent dans des douilles qui sont séparées au moyen d'un montant isolant en verre. Chacune de ces tiges est en contact avec une des extrémités d'une pile à acide azotique de 40 à 50 éléments. Au moment du contact des deux tiges en charbon, il se produit une très-grande élévation de température, et les pointes de charbon incandescentes donnent par irradiation une lumière d'une vivacité extraordinaire.

Cet arc s'éteint quand la combustion de chaque tige a diminué leur longueur de façon à ce que le courant ne puisse plus passer. Pour rendre l'arc fixe on se sert d'appareils que l'on nomme régulateurs de lumière électrique, et qui ont pour but de faire rapprocher les charbons au feu et à mesure que la combustion dans l'air et le transport du pôle au pôle — diminue leur longueur. Il y en a de différents genres; l'un représente ci-après, fig. 11 bis, le régulateur automatique imaginé par M. Serrin, et qui est adopté par l'administration des phares. Il se com-

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 36, p. 111.

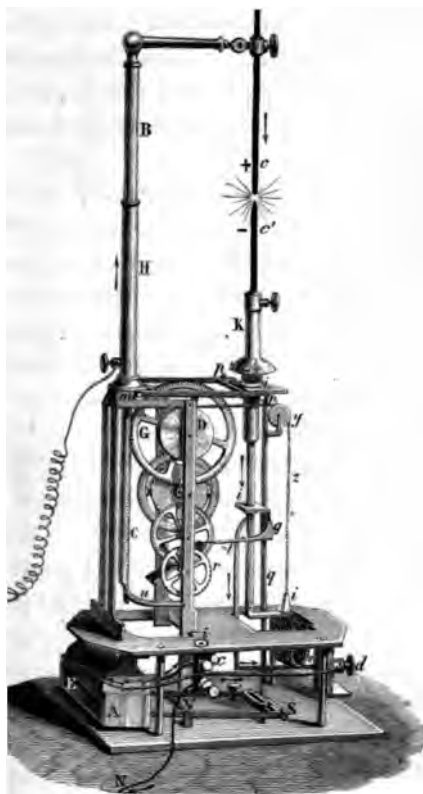


Fig. 11 bis.

pose essentiellement de deux mécanismes; l'un est affecté au rapprochement des charbons, l'autre à leur écart afin que l'appareil se mette en marche de lui-même (1).

Le premier mécanisme est composé des parties suivantes : la tige B, qui porte le charbon positif *c*, est taillée en crémaillère C; elle glisse dans la colonne H, qui lui sert de guide, et agit par son poids sur la roue dentée G, sur l'axe de laquelle est fixée une poulie D. Cette poulie en tournant de droite à gauche fait enrouler une chaîne *z*, qui passe sur une seconde poulie *y* et va s'attacher en *i* à la partie inférieure d'une tige rectangulaire; cette dernière tige en s'élevant fait monter la pièce K, qui supporte le charbon négatif *c'*, en sorte que celui-ci monte à mesure

le charbon positif s'abaisse. Le diamètre de la poulie D est à celui de la poulie G dans un rapport correspondant à l'usure de chacun des charbons, de façon à maintenir le point lumineux à une hauteur invariable. Quand cet appareil sert pour les machines magnéto-électriques, le courant électrique étant alternativement renversé, l'usure des charbons est à peu près la même, et les diamètres dont il est question sont peu différents. En réalité, l'action des courants d'air autour des charbons fait que le conducteur inférieur s'use un peu plus que le supérieur et cela dans le rapport de 108 à 100; les dimensions des diamètres des poulies doivent être dans ce rapport.

Le second mécanisme, ou système oscillant, constitue la partie caracté-

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement*, t. 6, 7, 8 et 9; *Comptes rend. de l'Acad.*, t. 50.

téristique de cet appareil ; il se compose d'un parallélogramme articulé aux quatre angles dont l'un des côtés verticaux q est mobile et peut s'abaisser sous l'influence de son propre poids, ou s'élever sous la pression d'un ressort. Une armature en fer doux A et un électro-aimant E en déterminent tous les mouvements.

Voici comment le régulateur fonctionne : les deux charbons étant en contact, si le courant électrique entre par le fil P, il monte suivant HB au charbon positif et de là passe dans le charbon négatif, puis sur la pièce K, et se rend dans le sens des flèches jusqu'à la borne d , mais sans pénétrer dans le reste de l'appareil, toutes les pièces dans lesquelles passe le courant étant isolées par des pièces en ivoire $i i i i$. De d le courant est conduit par un fil isolé à l'électro-aimant E, d'où il sort pour se rendre à une borne x et de là à la pile par le fil N.

Aussitôt que le courant passe dans l'électro-aimant, l'armature A est soulevée et produit l'écart des charbons, car à cette armature est fixé un cadre de cuivre VS oscillant autour d'un axe horizontal V et lié à un système oscillant q . Celui-ci s'abaissant, l'écart se produit, et en même temps la pièce g , terminée par une lame t , s'abaisse ; or celle-ci s'embranchant alors dans les dents d'une roue en rochet r , cette roue s'arrête et avec elle toutes les roues dentées et la crémaillère. Les charbons sont alors fixes, ce qui dure tant que le courant conserve assez d'intensité pour tenir l'armature A soulevée ; or, les charbons se brûlant, leur intervalle augmente et l'intensité du courant diminue de sorte que l'armature descend et la roue r désembraye. A ce moment les charbons se rapprochent, mais sans arriver au contact, car le courant électrique reprend aussitôt assez d'intensité pour soulever de nouveau l'armature et arrêter les charbons. Le rapprochement et l'écart sont donc réglés par l'appareil même.

M. J. Duboscq a construit un régulateur photo-électrique, représenté fig. 11 ter, qui est fréquemment employé dans les expériences d'optique (1). Le mécanisme de ce régulateur a pour fonction de fixer la position de l'arc voltaïque en maintenant les deux charbons à une distance constante et en les rapprochant lorsque, par l'effet de la combustion, leur distance tend à devenir plus grande. Pour cela, un mouvement d'horlogerie placé dans le pied de l'appareil, tend à entraîner les d

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, nouvelle série, t. 1, 2, 3. Becquerel, *Traité d'électricité* en 3 volumes, t. 3, p. 354.

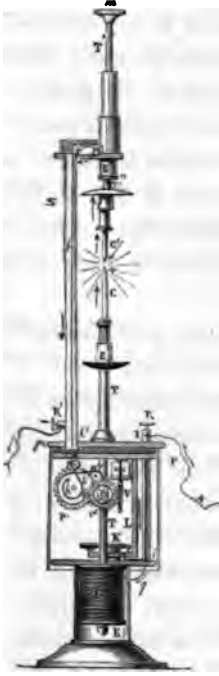


Fig. 11 ter.

supports des charbons T et T', soit à l'aide de deux chaînes *h* et *h'*, qui s'enroulent autour de deux gorges de poulies comme dans la figure, soit à l'aide de deux crémaillères comme dans une autre disposition de cet appareil.

A la base du régulateur se trouve un électro-aimant autour duquel circule le courant qui doit produire l'arc voltaïque. Cet électro-aimant peut attirer un contact en fer doux K, auquel est attaché un levier coudé PL, pivotant autour d'un axe horizontal et qui peut entraver le mouvement d'horlogerie dans sa marche. Si donc l'on fait arriver les charbons au contact et qu'on les éloigne de la quantité nécessaire pour que l'arc brille, le contact étant attiré, le mouvement d'horlogerie ne fonctionne pas et les charbons restant fixes diminuent de longueur par combustion; alors l'intensité du courant venant à diminuer, le contact est soulevé, le mouvement d'horlogerie fonctionne et les charbons se rapprochent jusqu'au moment où le courant reprend assez de force pour attirer de nou-

veau le contact. Quant aux diamètres des poulies, ils doivent être dans le rapport de l'usure des charbons polaires auxquels ils communiquent leur mouvement.

La lumière électrique obtenue avec l'arc voltaïque a une intensité qui dépend des circonstances de sa production; en effet, elle varie suivant la quantité d'électricité qui passe entre les charbons polaires et la pureté de ces charbons, car l'arc lumineux n'est produit que par le passage de l'électricité par l'intermédiaire des matières portées à l'incandescence; si donc le charbon n'est pas pur et renferme des silicates ou d'autres corps fusibles et volatils, ces matières étant conductrices et la quantité de chaleur produite dans une portion de circuit étant proportionnelle au carré de l'intensité du courant et à la résistance à la conductibilité, l'intensité lumineuse doit diminuer. C'est pour ce motif que, toutes choses étant égales d'ailleurs, avec des charbons exempts de silicates l'intensité lumineuse de l'arc voltaïque est plus grande.

Quand on se sert de couples ordinaires à acide azotique pour former l'arc voltaïque et que le nombre de couples varie de 50 à 100, en éva-

Quant à la somme de lumière envoyée sur un écran placé à une certaine distance, on trouve que le pouvoir éclairant de l'arc varie de 400 à 1000 bougies. Quant à la dépense pour produire cette lumière, on peut, si on ne tient compte que des acides et du zinc usés dans la pile, la porter à 3 cent. par élément et par heure, et pour comprendre les frais accessoires, à 5 centimes. Ainsi 100 éléments coûteraient de 3 à 5 fr. à entretenir par heure, et la dépense de la lumière électrique comme équivalent lumineux serait à peu près dans les conditions de l'éclairage à l'huile de colza ordinaire (1).

Mais si l'on emploie les courants magnéto-électriques pour produire l'arc voltaïque, alors le prix de revient s'abaisse beaucoup. Voici les résultats de la comparaison faite à l'administration des phares dans les expériences sur l'emploi de la lumière électrique (2) avec une machine à 4 disques construite par la société l'Alliance et un régulateur de M. Serrin : Chaque disque portant 8 électro-aimants, et par conséquent la machine ayant 32 électro-aimants et 40 aimants permanents, on a trouvé que la machine à vapeur qui la fait tourner use en moyenne 10 kil. de charbon par heure, et que la quantité moyenne de lumière est équivalente à celle de 125 becs Carcel ou 1000 bougies. Avec les lampes à huiles à mèches concentriques, utilisées auparavant dans les phares, la consommation pour un phare de premier ordre était environ de 120 gr. l'heure, donnant 23 becs Carcel ou 184 bougies.

Quant au prix de revient de l'unité de lumière envoyée à l'horizon par les phares éclairés à la lumière électrique, il se compose non-seulement du prix du charbon brûlé dans le moteur, mais encore des dépenses accessoires, telles que le paiement des mécaniciens, usure des appareils, et

En somme, en 1865, toute dépense comprise, il n'a pas atteint le de ce qu'il était autrefois avec l'huile. Si l'on n'a égard qu'à la dépense du charbon dans le moteur, alors ce prix est encore bien moindre.

On a déjà dit antérieurement que les sources lumineuses usitées dans les arts empruntent en général leur lumière à l'irradiation du carbone tel est le cas des chandelles, bougies, lampes alimentées par les huiles grasses et essentielles diverses, ainsi que l'arc voltaïque formé entre des conducteurs en charbon ; mais avec le chalumeau à gaz oxygène

(1) Voir *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'Ind.*, 2e série, t. 4, p. 530.

(2) Mémoire de M. L. Reynaud sur le balisage et l'éclairage des côtes de France; Paris 1864, pag. 539 (*Moniteur universel* 21 mai 1866).

hydrogène, ou les appareils comme la lampe au magnésium, d'autres **corps** que le carbone sont incandescents. On a même utilisé il y a **plusieurs** années le pouvoir d'irradiation du platine en formant des réseaux **avec** des fils de ce métal qui étaient portés au rouge blanc à l'aide **de** la flamme très-peu éclairante du gaz hydrogène provenant de la **décomposition** de l'eau par le charbon.

Dans les premières flammes, qu'on peut appeler flammes **charbonneuses**, l'intensité lumineuse et en même temps la quantité de la **lumière** émise dépendent de la température, car plus la température est **élevée**, plus il y a proportionnellement de rayons très-réfrangibles et plus **la lumière** devient blanche; quand la combustion est incomplète et la **température** basse, la lumière devient rougeâtre. D'après M. Gaudin (1) **ces** différentes flammes peuvent être classées comme il suit par rapport **à** leur intensité lumineuse, en dehors de l'arc voltaïque bien entendu :

1° Les huiles essentielles brûlant avec l'oxygène avec production **d'une** fumée très-dense;

2° Le gaz hydrogène imprégné d'huiles essentielles brûlant avec **l'oxygène**;

3° L'alcool, l'éther ou le gaz de houille, mélangé d'huile essentielle, **brûlant** avec l'oxygène;

4° Le gaz hydrogène imprégné d'huile essentielle, et brûlant dans **l'oxygène**; belle lumière;

5° Le gaz de houille accompagné d'huile essentielle brûlant dans **l'air**;

6° Le gaz de houille brûlant dans l'air.

La blancheur de ces flammes suit celle des intensités et est plus grande **dan**s les flammes dont les noms précèdent que dans celles dont les noms **suivent**.

Il est assez difficile de donner une évaluation de l'intensité lumineuse **comparée** des différentes sources qui viennent d'être citées, car cette **évaluation** dans chaque cas dépend d'une foule de circonstances, et ne **doit** être considérée que relative aux conditions de l'expérience elle-**même**.

Ainsi, lors de la combustion de l'huile grasse (huile de colza) dans **une** lampe Carcel ou modérateur, la quantité de lumière produite n'est **pas** exactement proportionnelle à la quantité d'huile brûlée; l'effet peut **dépendre** de la hauteur de la mèche, de la position du verre et par

(1) Becquerel, *Traité de physique*, t. II, p. 110.

conséquent de la manière dont la combustion se produit. Cepen cette source lumineuse quand la lampe est dite montée pour bri blanc est encore une des plus constantes que l'on puisse avoir.

Dans la combustion du gaz l'intensité est bien autrement variable, qu'elle dépend non-seulement de la composition du gaz et surto matières carbonacées qu'il peut renfermer, mais encore de la dis tion du bec, de sa construction, de la rapidité du courant d'air, de la pérature et de la pression du gaz à sa sortie. On ne peut don donner des résultats même moyens, à moins de spécifier la forr bec employé ainsi que la composition et la pression du gaz qui b

Les résultats suivants ont été obtenus dans une série d'expéri faites il y a plusieurs années (1). Les premières colonnes du ta renferment les résultats des expériences; la quatrième colonn indique la consommation relative à l'intensité lumineuse correspo à une bougie, renferme des nombres théoriques qui servent à estir dépense pour une consommation déterminée.

SOURCES DE LUMIÈRE.	pouvoir éclairant.	Consommation en 1 heure.	Consommation par heure pour une bougie stéarique.	Pris de l'équivalent à 100 bougies par heure.	OBSERVAT
Chandelle de sulf.....	0,81	8,55	10,55	1,58	à 1,50 le k
Bougie de cire.....	0,92	7,60	8,26	4,63	à 5,00 -
Bougie stéarique.....	1	10,40	10,40	2,81	à ,70 -
Lampe Carcel, mèche 7 lignes.	3,53	17,66			
Huile de — 9 —	4,32	21,31			
de — 11 —	5,73	29,35	5,10	0,77	à 1,50 -
colza — 13 —	7,11	37,02			
épurée. (a) Nombre théorique par le calcul.	8,23	42;			
Huile essentielle légère de schiste...	10,14	45,81	4,52	0,55	
Bec de gaz dit papillon.....	7,60	variable (b).	variable entre 15 et 25 litres.	variable.	Le prix de 10 est de 18 cent ville de Paris cent pour le

(1) *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, 2^e sér p. 534; 1857.

(a) Cette quantité se rapporte à une lampe Carcel brûlant à blanc et consomr gr. d'huile à l'heure.

(b) Voir Pecllet, *Traité de l'éclairage au gaz*; Robert d'Hurcourt, *Eclairage* a page 338; *Dictionnaire des arts et manufact.*, article *Eclairage*; Audouin et . *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. LXV; 1862.

On voit que le rapport du pouvoir éclairant d'une lampe Carcel brûlant 42 gr. d'huile à l'heure à celui d'une bougie stéarique brûlant 10 gr. 40 est de 8,23. Quant aux prix de revient des matières brûlées, il varie chaque année, de sorte que les nombres insérés dans les deux dernières colonnes doivent être calculés de nouveau quand ces prix viennent à changer.

M. F. Leblanc a eu l'obligeance de me communiquer les résultats suivants, qui se déduisent d'expériences faites pendant ces dernières années dans le service municipal de la ville de Paris :

Le pouvoir éclairant de la lampe Carcel brûlant 42 gr. d'huile à l'heure étant pris pour unité, les bougies stéariques ordinaires courtes de l'étoile brûlent 10 gr. 23 à l'heure et donnent un pouvoir éclairant de $\frac{1}{3}$ par rapport au précédent. Ainsi, d'après ces résultats, la lampe Carcel vaudrait 9 bougies. Plus haut on a donné le nombre 8,23; mais on a vu, page 98, que cette valeur pouvait subir des variations. On peut donc dire, en général, que la lampe Carcel brûlant 42 gr. d'huile à l'heure donne autant de lumière que 8 à 9 bougies stéariques.

L'huile de pétrole (valant 0,75 le kilog.) brûlée dans une lampe à mèche cylindrique et présentant une consommation de 49 gr. à l'heure, a donné un pouvoir éclairant de 1,78 par rapport à celui de la lampe Carcel.

Quant à la lumière du gaz d'éclairage, elle est fort variable, comme on l'a expliqué plus haut; mais dans un bec dit Bengel, de forme déterminée, en moyenne on admet que 25 litres de gaz donnent autant de lumière que 10 gr. d'huile de colza, de sorte qu'il faut consommer 105 litres de gaz avec ce bec pour avoir une lumière équivalente à celle de la lampe Carcel; avec les becs papillons cette dépense est bien plus grande.

D'après ces résultats et les prix de revient actuels des matières brûlées, si l'on prend pour unité de lumière celle qui correspond à 42 gr. d'huile de colza brûlée par heure, la dépense pour la même intensité lumineuse avec les différents modes d'éclairage dont il vient d'être question serait en centimes, par heure :

Gaz d'éclairage	} au prix de 15 cent. le mètre cube	cent.
		payé par la ville de Paris.
	} au prix de 30 cent. le mètre cube	payé par les particuliers.....
Pétrole.....		2

Huile de colza	6,5
Bougie stéarique	26

§ 6. — *Intensité de la lumière émise par les corps incandescents placés dans diverses sources calorifiques; évaluation approchée de leur température.*

On vient de parler dans le paragraphe précédent du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène et de l'arc voltaïque; mais les phénomènes d'irradiation peuvent permettre d'avoir une idée des températures qui se produisent dans ces puissantes sources calorifiques.

Si l'on pouvait toujours observer simultanément avec les différents corps que l'on étudie une même substance, comme le platine, la comparaison entre les effets obtenus serait facile; on le peut aisément jusqu'au point de fusion de ce métal, mais au delà cela n'est plus possible. On a bien vu que jusqu'à 1300° environ le platine, la chaux, la magnésie, le charbon, avaient sensiblement le même pouvoir d'irradiation. En est-il de même à des températures plus élevées? C'est ce que l'on ne peut affirmer; mais, en supposant que cette égalité subsiste, on peut avoir une idée des plus hautes températures que l'on puisse produire, et l'on va voir que ces températures ne sont pas aussi élevées qu'on l'avait supposé.

Afin de comparer entre elles les intensités lumineuses sans que l'on ait besoin à chaque expérience de déterminer, à l'aide du fourneau et du couple thermo-électrique, comme on la vu, page 72, la température correspondante à différentes intensités, j'ai reconnu qu'en visant avec la lunette droite du photomètre représenté fig. 3 la partie la plus lumineuse de la flamme d'une lampe Carcel montée toujours de la même manière, ainsi que la partie la plus lumineuse de la flamme d'une bougie, on avait dans chaque expérience, et à différents jours d'intervalle des nombres très-peu différents, et que l'on pouvait régler les déterminations faites avec la lampe placée de côté, pour qu'elles se rapportassent toutes à la même unité. Ainsi, lorsque l'on a pour les divisions du photomètre avec les verres rouges dont on s'est servi,

	Angle mesuré sur le photomètre.	Log. I.
Partie la plus lumineuse de la flamme de la lampe.	8° 25'	1,6690902
Partie la plus lumineuse de la flamme de la bougie stéarique	10° 20'	1,4524782

siblement appliquer la formule donnée précédemment dans ces températures élevées on a

$$T = 925,21 + 199,44 \log. (I).$$

appelé en effet que l'on a démontré antérieurement que la lumière émise dans la flamme d'un bec de gaz était la mesure de température, que dans un tube échauffé au milieu

1. au moyen des prismes de Nicol placés dans la lunette photométrique fig. 3, de ramener aux valeurs précédentes les raies de la lampe ou de la bougie, afin de se placer dans les conditions expérimentales.

Etant ainsi réglés, on a disposé un chalumeau à gaz oxygène, puis l'on s'est arrangé pour introduire dans la buse d'une tige en platine, qui n'a pas tardé à entrer en fusion, au moyen du photomètre, sur la boule de fer, le cuivre rouge, puis on a substitué à ces tiges des tiges de chaux; de magnésie, d'alumine, et l'on a eu les résultats :

	MATIÈRES placées dans la flamme du chalumeau à gaz.	PHOTOMÈTRE.			TEMPÉRATURE	
		Angle observé.	Logarithme de I.	Intensité lumineuse I.		
Expérience du 7 janvier 1862. RAYONS ROUGES.	Chaux vive. { D'abord	1° 50'	2,9685100	977,04	1511	
		Puis	1. 40	3,0726702	1182,15	1536
	Platine. { Avant la fusion	3	2,5623996	1436	
		Fond et bouillonne.....	4.15	2,8128034	1486
		Maximum observé.....	2	2,9143616	1506
	Fer. { Effets lumin. } Tige en fusion.	4.10	2,2774534		"	
		{ tr.-variables } Excès d'oxygène	2.10	"	"	
		{ d'intensité. } Excès d'hydrog.	5. 0	"	"	
		Gouttes d'oxide.	5. 0	2,5623996	"	
	Cuivre rouge. { Inégalités très-grandes lors de la fusion (intensité moyenne) }	19.56	0,9353754	8,62	"	
Quartz fondant.....		6.50	1,8490402	70,64	"	
Alumine fondant et cristallisant.....		4.40	2,1792922	151,11	"	
Magnésie.....		1.10	3,3826118	2012,20	1506	

Les expériences suivantes ont été faites plusieurs mois après les précédentes avec un second photomètre analogue au premier, mais prenant pour unité une autre intensité lumineuse ; on a d'abord directement sur les portions les plus lumineuses d'une lampe modérateur et sur celles d'une bougie ; on a eu :

Angle mesuré
sur le photomètre. Log. I.

Partie la plus lumineuse de la flamme
de la lampe (rayons rouges). 7° 54' 1,7237450

Partie la plus lumineuse de la flamme
de la bougie stéarique 9° 47' 1,5394964

En appliquant la même formule que précédemment, mais en te

compte de ces nouvelles intensités, on a pour la température l'expression

$$T = 911,07 + 199,44 \log. I.$$

On a eu ensuite :

	MATIÈRES placées dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.	PHOTOMÈTRE.				
		Angle observé.	Logarithme de I.	Intensité lumineuse I.	TEMPÉRATURE calculée.	
Expériences de décembre 1862.	Chaux vive.....	1°18'	3,2884330	"	1566,9	
	Magnésie.....	1.19	3,2766000	"	1564,6	
	Platine.....	2.22	2,7682170	"	1463,2	
	Palladium.....	4.12	2,2705248	"	1364,0	
	Fer.....	} Effets lumineux variables; éclats par instants.	5.44	2,0008810	"	"
	Cuivre...		} Effets lumineux très-variables d'intensité.	25.32	0,7309726	"

On voit, d'après ces résultats, que les corps transparents ou en fusion ne sont pas doués du même pouvoir d'irradiation; car la fusion du quartz et celle de l'alumine, quoique n'ayant pas lieu à la même température, ne sont pas bien éloignées l'une de l'autre, et cependant les intensités lumineuses de ces matières sont plus faibles que celle observée lors de la fusion du fer.

La première série d'expérience a donné pour la chaux et la magnésie des intensités lumineuses différentes; mais il est probable que ce résultat tient aux inégalités de température présentées par le jet de flamme au commencement et à la fin de l'opération, car dans la seconde série d'expériences la lumière émise a été trouvée sensiblement égale avec les deux substances.

En ce qui concerne la fusion des métaux, et en particulier du platine, la température à laquelle la fusion a lieu ne peut être déterminée avec exactitude; car, outre la difficulté d'évaluer exactement l'intensité de la lumière émise par une masse métallique aussi petite, il est possible qu'au moment de la fusion le pouvoir d'irradiation ne rest pas le même que lorsque le corps est solide; si elle devient plus petite on est alors conduit à une température un peu trop basse. On peut néanmoins, en admettant que la loi d'émission lumineuse reste la même qu'entre 1000° et 1200°, indiquer les limites probables entre lesquelles les points de fusion ont lieu.

Si les températures de fusion des métaux sont difficiles à préciser il est encore plus difficile d'indiquer exactement la limite de température à laquelle on peut arriver avec la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène; les corps qui sont plongés dans la flamme, et même les points très-lumineux que présentent les cylindres en chaux ou en magnésie sur lesquels on projette le jet gazeux enflammé, se chauffent, mais rayonnent, et ce n'est que quand ils reçoivent autant qu'ils perdent dans un temps donné que l'équilibre de température est établi; or, sous ce rapport il faudrait donc un corps opaque d'une ténuité extrême pour se rapprocher de la limite de température à laquelle on peut parvenir. Les résultats précédents obtenus avec la chaux et la magnésie donnent entre 1560° et 1600° pour cette limite, qui doit donc être un peu trop faible; cependant cette valeur représente la température que prennent ces corps au moment où on les observe.

Lorsqu'on fait usage de la méthode photométrique employée ici pour l'évaluation des hautes températures, il faut admettre que la loi d'émission lumineuse qui s'applique jusqu'à 1300° se continue encore au delà c'est là le côté hypothétique de cette méthode optique. Du reste, quel que soit l'effet physique que l'on emploie pour comparer les températures, on est toujours obligé de faire une supposition du même genre et même en se servant de la dilatation d'un gaz, il faudrait savoir si la loi de dilatation reste toujours uniforme à des températures aussi élevées.

Une autre difficulté se présente dans les évaluations photométriques déjà, dans les expériences précédentes, on arrivait à des angles de 2° et de 1°, et comme à peine si l'on peut faire la détermination de ces quantités à cinq minutes de degrés près, l'erreur expérimentale que l'on commet devient de plus en plus forte. En supposant un angle de 1° de

onné sur le cercle du photomètre, une différence de 5 minutes correspond à une différence de 15° à 16° de température centigrade. Pour évaluer cette erreur en observant des intensités lumineuses plus vives encore, il faut employer des écrans colorés absorbant la lumière; et même on opère toujours avec des rayons d'une réfrangibilité déterminée, on ne craint pas de changer d'une manière sensible la nuance des rayons transmis. On s'est servi dans les expériences dont les résultats sont indiquées ci-après pour les rayons rouges de verres colorés par protoxyde de cuivre et de la réunion d'un verre bleu de cobalt et d'un verre rouge, réunion, comme on le sait, qui ne laisse passer que le rouge extrême du spectre. La quantité de lumière qui passait au travers du premier verre rouge était les 0,0724 de la lumière rouge incidente; celle qui traversait l'écran mixte bleu et rouge était les 0,00706. D'un autre côté, à l'aide des prismes de Nicol ordinaires placés dans la lunette latérale du photomètre représenté fig. 3, on peut changer l'intensité de la lumière type suivant des rapports déterminés, et étendre encore les limites des effets à comparer.

La source physique qui a paru donner à un corps lumineux l'irradiation la plus vive est l'arc voltaïque produit entre deux cônes de charbon placés dans l'air. On a déjà vu que le charbon de cornue placé dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène donne, par incandescence, une lumière peu différente de celle d'un fragment de magnésie et de chaux; la seule différence que l'on observe serait plutôt en faveur du charbon dans un jet de gaz où l'oxygène est légèrement en excès. Le charbon se comportant comme un corps opaque incandescent, on a dirigé la lunette du photomètre sur les charbons latéraux d'un arc voltaïque formé dans l'air au moyen d'une pile de 80 éléments à acide nitrique de moyenne dimension. L'éclat du charbon positif l'emportait beaucoup sur celui du charbon négatif. Après avoir placé la partie du bord de l'image de ce charbon où la lumière était la plus vive, au milieu du champ de la lunette, on a comparé la lumière rouge qui traversait le système à celle de la lumière de la source de comparaison vue de côté; on a eu en moyenne :

- 1° Avec le verre rouge (déviation mesurée dans le photomètre)..0°, 43'
 - 2° Avec le système des verres rouges et bleus. 1°, 53'
- Si l'on cherche quel serait l'angle qui serait observé si l'on n'intervenait aucun verre coloré, on trouve, d'après les pouvoirs absorbants de ces écrans, 11' 35" et 9' 40", c'est-à-dire un nombre qui en moyenne

est un peu supérieur à 10 minutes de degrés. Comme les premières observations peuvent être en erreur de 5 minutes, le dernier nombre peut l'être de $\frac{1}{10}$ de sa valeur totale, ce qui correspond à une différence de 18° ou 20° de température centigrade.

En admettant pour limite cet angle de 10 minutes, et en supposant que la loi d'émission de la lumière reste la même que celle du platine ou de la magnésic, on trouve que la température observée serait de 1970°, et en tout cas ne dépasserait pas 2000°.

Il est possible que l'étincelle électrique donne une température plus élevée que celle de l'arc voltaïque; mais quant à présent je n'ai pu la déterminer au moyen des effets d'irradiation, vu son peu de durée. En tout cas, je ne pense pas que l'on s'éloigne beaucoup de la limite précédente.

On peut réunir dans le tableau suivant les températures les plus élevées que l'on obtient dans les foyers ordinaires ainsi qu'avec le chalumeau à gaz oxygène et hydrogène et au moyen de l'arc voltaïque, ces températures étant évaluées à l'aide des méthodes décrites dans cet ouvrage :

CHANGEMENTS D'ÉTAT.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique ou degré pyro- métrique du couple thermo-électrique platine-palladium.	TEMPÉRATURE centigrade.
Ébullition du cadmium.....	1060,0	720,0
— du zinc.....	1445,0	891,0
Fusion de l'argent.....	1504,2	916,0
— de l'or.....	1805,1	1037,0
— du cuivre rouge.....	2120,0	1157,0
— du fer (non carburé).....	•	entre 1350 et 1400°
— du palladium.....	•	entre 1360 et 1380
— du platine.....	•	entre 1400 et 1480
Arc voltaïque; charbon polaire positif.....	»	limite supérieure 2000°

LIVRE IV.

ANALYSE DE LA LUMIÈRE PAR RÉFRACTION.

CHAPITRE PREMIER.

Sources lumineuses d'origine météorique.

§ 1. *Spectre coloré; raies du spectre solaire et des spectres stellaires.*

Lorsqu'on réfracte à travers un prisme un faisceau de rayons solaires provenant d'une ouverture longitudinale très-étroite faite au volet de la chambre noire et de façon que l'arête du prisme soit parallèle à la fente, si l'on examine directement au travers du prisme le spectre lumineux produit par réfraction, ou bien si l'on reçoit sur un écran l'image produite par le faisceau lumineux dispersé en interposant une lentille de convergence de 40 à 60 cent. de foyer sur la route des rayons lumineux après leur sortie du prisme, de façon que l'écran soit sensiblement au foyer de l'image de l'ouverture par rapport à la lentille, et que la réfraction ait lieu pour les rayons moyens au minimum de la déviation, le spectre solaire, au lieu de former une image continue dans laquelle les couleurs passent insensiblement de l'une à l'autre, paraît traversé par des lignes noires parallèles à l'arête du prisme et plus ou moins nombreuses suivant les parties du spectre, lignes qui sont toujours les mêmes et qui ne varient entre elles que de distance quand on emploie divers prismes.

Ce phénomène ne peut être vu en employant un faisceau lumineux d'une certaine largeur; c'est ce qui explique comment depuis Newton, à qui l'on doit la découverte de la décomposition de la lumière par réfraction, et pendant plus d'un siècle, il est resté ignoré des physiciens.

Wollaston, (1) en 1802, est le premier qui signala quelques-unes des raies du spectre solaire; mais c'est à Fraunhofer (2) que l'on doit une analyse précise de ce phénomène, qui lui a permis de fixer d'une manière exacte les indices de réfraction des différentes substances par rapport à des rayons de réfrangibilité bien déterminée; le travail remarquable de Fraunhofer a servi de point de départ aux recherches d'analyse spectrale qui ont pris une si grande extension dans ces dernières années.

Le mode d'observation de Fraunhofer consiste à placer sur un théodolite un prisme en flint très-pur, et à observer directement au travers de ce prisme à l'aide d'une lunette, et de façon que les rayons incidents et émergents fassent le même angle avec les surfaces d'entrée et de sortie, l'image d'une ouverture rectiligne très-étroite faite au volet de la chambre noire parallèlement à l'arête du prisme et servant à introduire les rayons directs du soleil. Quand l'ouverture est très-étroite, les lignes fines sont visibles; quand on augmente sa largeur, celles-ci disparaissent et les lignes fortes seules sont apparentes; ce résultat tient à l'empiétement l'une sur l'autre des images prismatiques formées par les rayons voisins qui sont introduits par la fente.

La planche figure 12 représente l'image colorée du spectre solaire avec les 8 principaux groupes de raies auxquels Fraunhofer a donné les noms des lettres de l'alphabet depuis A jusqu'en H; on y a joint le groupe *a* dans le rouge, et *b* dans le vert. La première partie de la planche figure 13 indique les différentes raies observées par Fraunhofer et dessinées par lui dans l'ouvrage cité précédemment; il y en a plus de 300; la seconde partie de cette planche se rapporte aux raies de la région ultra-violette, dont il va être question dans le paragraphe suivant.

Il résulte de ses observations qu'en A il y a une raie bien prononcée, qui est presque à la limite du rouge; elle est double, et pour la voir nettement (3) il faut regarder le spectre avec un verre coloré en bleu par le cobalt; on élimine ainsi les rayons les plus lumineux orangés et rouges, et l'œil, non impressionné par ces rayons, distingue mieux l'extrémité rouge du spectre qui passe librement au travers du verre coloré. Le rouge se continue cependant un peu au delà de A.

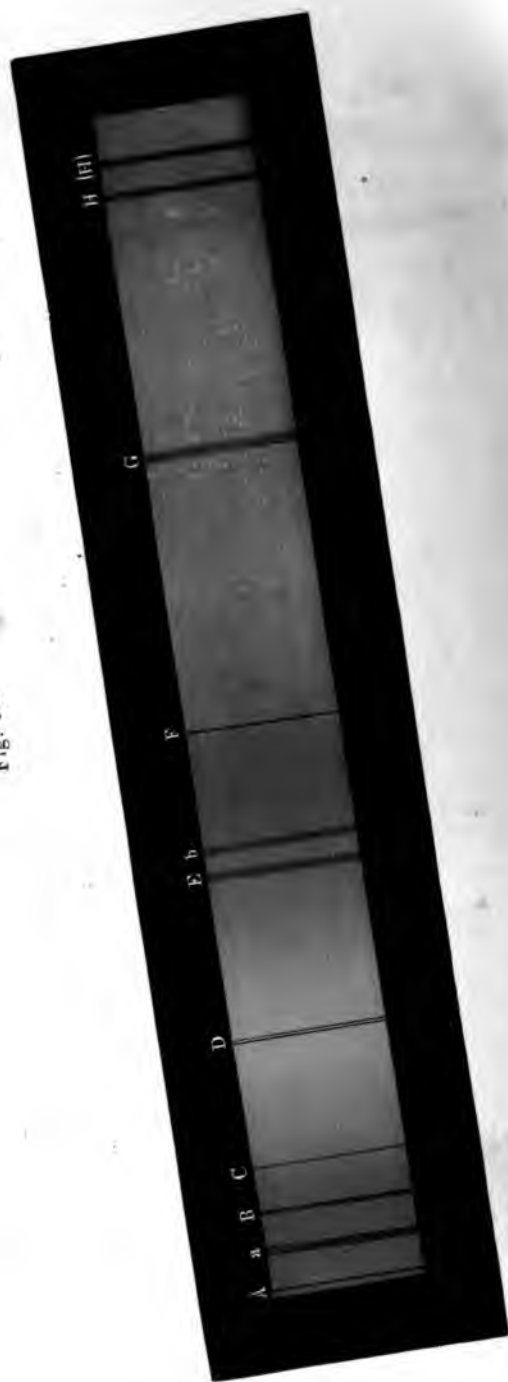
(1) *Transactions philosophiques*, t. 92 (1802).

(2) *Mémoires de l'Académie de Munich de 1814 à 1815*, t. 5, p. 193 (1817). — *Astronomische-Abhandlungen herausgegeben von H. Schumacher*; 1823.

(3) *Biblioth. universelle de Genève*, t. 22, p. 382, 1839. — Athénéum; *Association britannique*, 1839. — *Biblioth. univ. de Genève*, t. 23, p. 185.



Fig. 12.





partie violette et ultra-violette
théorème photographiquement



Dufois etc

Imprimerie Châlain.



de A se trouve, en *a*, un amas de 8 petites lignes très-fines; B est n distincte et d'une épaisseur assez considérable; de B à C il y a raies bien déterminées; C est épaisse et noire comme B; entre C et l y a 30 raies fines, qui, si on en excepte deux, ne peuvent être s qu'avec un fort grossissement ou avec des prismes très-dispersifs; même observation doit être faite entre B et C. D est formée de ix fortes raies séparées par une ligne claire; elle est dans le jaune dans la partie la plus lumineuse du spectre; entre D et E on ren- tre environ 84 raies de différente grosseur, E consiste en plusieurs es, dont celle du milieu est la plus forte; de E en *b* il y a à peu près raies; en *b* on en trouve trois très-fortes, dont deux séparées par e raie fine et claire; *b* et E sont dans le vert. L'espace *b* F renferme eu près 32 raies; F est très-grosse; elle est dans le commencement bleu prismatique; entre F et G on peut compter 185 raies de dif- ente épaisseur. En G se trouve un amas de beaucoup de raies, et plusieurs sont remarquables par leur grosseur; de G en H il y a raies. Les deux bandes H qui sont à la limite du violet sont pres- e égales et formées de plusieurs lignes, dans le milieu desquelles il trouve une très-forte. Après H la couleur du spectre cesse d'être vio- ée, et prend une teinte grise lavande qui va en diminuant rapidement ntensité à mesure que l'on s'éloigne de ces bandes; il se trouve as cette région un très-grand nombre de lignes.

On voit, d'après cela, qu'avec le mode d'observation de Fraünhofer on ut compter au moins 600 raies noires dans l'intervalle des lignes A H, qui terminent le rouge et le violet de l'image prismatique colorée. Fraünhofer, après avoir constaté que ces raies sont indépendantes de nature et de l'angle des prismes, et qu'elles ne font que de se rap- cher plus ou moins suivant le pouvoir dispersif de ces prismes, en a elu qu'elles dépendent de la nature de la lumière elle-même, et-à-dire des conditions de sa production. Ainsi il montra que les etres formés par la lumière des planètes et de la lune ont les mêmes es, lesquelles sont placées aux mêmes intervalles que pour la lumière aire, conséquence d'une origine commune; mais qu'il n'en est pas même de la lumière des étoiles, puisque quelques-uns de ces astres nent des images prismatiques dont un certain nombre de raies sont mêmes que celles de la lumière solaire, et dont d'autres sont dif- entes. Fraünhofer observa aussi que la lumière électrique pouvait nner des raies brillantes.

L'étude des images prismatiques de plusieurs flammes, et dont il va é question plus loin, suivit les recherches de Fraunhofer, et M. Brewster ayant observé que la vapeur d'acide hypoazotique produisait de nombreuses raies dans l'image prismatique, eut l'idée que des effets d'absorption analogues pouvaient se produire de la part de l'atmosphère terrestre sur certains rayons lumineux solaires et donner naissance des raies d'une réfrangibilité déterminée. Il découvrit en effet en 1833 que le spectre solaire présente des bandes obscures nouvelles quand le soleil est près de l'horizon. M. Brewster, dans ses recherches, avait en vue l'explication des raies noires du spectre solaire; on verra dans le chapitre suivant qu'il était réservé à M. Kirchhoff de donner l'explication très-probable de ce phénomène.

M. Brewster (2) en étudiant avec soin les différentes lignes noires du spectre solaire, en étendit beaucoup le nombre; on a vu que Fraunhofer en avait compté environ 600 de A à H; il en porta le nombre à près de 2000; il put même aller un peu au delà de A, et indiquer dans cette région quelques lignes noires. M. Kirchhoff (3), en faisant réfracter un faisceau des rayons solaires successivement à travers plusieurs prismes dans les appareils appelés spectroscopes, qui seront décrits plus loin, étendit encore davantage l'image prismatique, surtout dans la partie plus lumineuse, et put résoudre en lignes très-fines des raies qui jusque-là avaient été considérées comme simples. Il porta à plus de 3000 le nombre de raies différentes contenu dans la partie colorée du spectre solaire.

On comprend qu'en augmentant beaucoup la dispersion de l'image prismatique, si l'intensité lumineuse est suffisante, on doit distinguer des détails qui échappent à l'analyse au moyen d'un simple spectroscope; aussi M. Gassiot (4) a-t-il observé qu'au moyen du passage successif de la lumière à travers 11 prismes en sulfure de carbone, les deux raies qui dans le dessin de Fraunhofer sont très-rapprochées l'une de l'autre se trouvent assez écartées pour laisser voir 12 raies entre elles de sorte qu'on peut même en compter encore un plus grand nombre (5).

(1) *Transactions philosophiques d'Édimbourg*, t. 12, p. 544 et 545, 1833.

(2) *Transactions philosophiques anglaises*, t. 150, 1860.

(3) *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1861. — *Annales de chim. et de physique*, 3^e série, t. 68, p. 5.

(4) *Ann. de chim. et de physique*, 4^e série, t. 3, p. 507 (1865).

(5) Voir Silliman, *Magazine*, mars 1866. — *Biblioth. univ.*, nouvelle période, t. 137, 1866.

On a indiqué les distances relatives des raies par leur position sur des figures comme celles qui sont représentées planche fig. 13. On pourrait, pour un prisme déterminé, évaluer leur écartement angulaire; mais ce n'est pas nécessaire pour l'étude qui nous occupe.

Pendant, afin de donner une idée de cet écartement, je dirai que Fraunhofer a trouvé, par exemple, qu'avec un prisme de flint d'un angle de 60° , et pour la position du minimum de déviation, les distances angulaires ont été :

de B à C	de C à D	de D à E	de E à F	de F à G	de G à H
41' 12", 6	31' 14", 8	41' 21", 4	38' 14", 8	1° 14' 45", 2	1° 8' 3", 6.

Ce qui donne environ $4^\circ \frac{1}{2}$ pour la longueur totale du spectre visible de A à H. M. Fizeau (1) a observé que les deux raies D dont il a été question plus haut, vues à travers un prisme de même substance, paraissaient être à 17" l'une de l'autre, c'est-à-dire environ à $\frac{1}{4}$ de minute angulaire.

Le crown, l'eau, dispersent moins la lumière que le flint ordinaire; mais le flint lourd et le sulfure de carbone ont un plus grand pouvoir dispersif; ainsi avec des prismes d'un angle de 60° la longueur totale du spectre visible, qui est angulairement de $4^\circ \frac{1}{2}$ avec le flint ordinaire, devient de $5^\circ \frac{1}{2}$ environ avec le flint lourd et de $8^\circ \frac{1}{4}$ avec le sulfure de carbone. Si l'on dispose plusieurs prismes à la suite les uns des autres, on peut, comme on l'a déjà dit plus haut, augmenter beaucoup l'écartement des raies du spectre.

Une partie des raies noires du spectre solaire, raies que l'on a nommées raies solaires, restent les mêmes quand on analyse toutes les sources lumineuses qui empruntent leur lumière au soleil, telles que les planètes, la lumière diffuse du jour, ainsi que celle des nuages; mais d'autres lignes varient d'intensité suivant les conditions atmosphériques ou même disparaissent quand le soleil est au zénith, et se montrent nombreuses quand il est près de l'horizon; il y en a même que l'on n'observe pas toujours quand l'air est sec.

Ces circonstances ont été signalées par M. Brewster, comme on l'a vu plus haut; elles ont été étudiées particulièrement par M. Janssen (2), qui a montré que des bandes obscures observées par M. Brewster, quand le soleil était près de l'horizon, pouvaient être résolues en raies fines

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 66, p. 429, 1862.

(2) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 54, p. 1280, 1862), — t. 56, — t. 57, — t. 60, p. 213, 1865.

et que ces raies fines variaient d'intensité suivant les épaisseurs atmosphériques traversées par les rayons solaires. En outre, MM. Brewster et Gladstone avaient inutilement recherché en 1860, avec une lumière artificielle placée à distance, les bandes que la couche d'air interposé devait produire; M. Janssen les observa dans la flamme d'un grand bûcher de bois de sapin placé près du lac de Genève à 21 kilomètres de distance, tandis que la même flamme, près des appareils, donnait un spectre continu. Il a même pu produire par absorption des bandes et des raies obscures en se servant de la lumière artificielle du gaz d'éclairage traversant un tube de 37 mètres de longueur rempli de vapeur d'eau à 7 atmosphères de pression (1).

D'après M. Janssen, le groupe A, une partie de B, C et ainsi que deux bandes entre C et D, sont dus dans l'atmosphère à la présence de la vapeur d'eau. Au moyen de tubes suffisamment longs, il sera peut-être possible de reconnaître si les gaz oxygène et azote produisent des raies par absorption et quelle est leur part afférente dans la production des raies du spectre solaire. Ces lignes du spectre de la lumière solaire qui sont produites par l'absorption de l'atmosphère, et en partie par la présence de la vapeur d'eau, ont été nommées raies atmosphériques ou telluriques; c'est principalement dans le voisinage de D qu'elles sont manifestes. On a réservé le nom de raies solaires à celles qui sont produites en dehors de notre atmosphère et par l'action solaire elle-même.

Fraunhofer avait observé que les spectres lumineux des étoiles présentent des raies noires dont quelques-unes se retrouvent dans la lumière solaire, mais dont d'autres sont différentes; ainsi le spectre de Sirius donne trois raies noires remarquables, qui n'existent pas dans le spectre solaire, une dans le vert, deux dans le bleu. Il avait compris toute l'importance de cette étude en vue de l'astronomie. Les recherches faites dans cette voie avaient été cependant négligées; mais depuis plusieurs années elles ont été reprises, et l'on peut citer parmi les observateurs qui s'occupent de cette importante question M. Donati (2) et surtout M. W. Huggins (3), M. Miller ainsi que le père Secchi (4).

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 63, p. 289, 1866.

(2) *Museo fiorentino*, vol. 1, *seria secunda*, 1860: — *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. 67, p. 247.

(3) *Proceeding of the royal Societ.*, t. 12, 14 et 15. — *Philosoph. transact.*, 1864 et 1866. — *Monthly notices, roy. astr. Societ.*, t. 25 et 26.

(4) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 57, p. 71, — t. 59, p. 182 et 309, — t. 63, p. 364 et 621 (1866).

Pour se rendre compte des résultats qui vont être indiqués ci-après, faut remarquer qu'avec les sources lumineuses artificielles, les spectres offrent des images continues ou discontinues suivant les conditions de leur production. Avec les corps solides ou liquides incandescents, les spectres sont en général continus sans solutions de continuité; si la lumière émane au contraire de gaz incandescents, elle donne des raies et des bandes lumineuses interrompues par des parties obscures; enfin, si la source lumineuse est un noyau incandescent enveloppé de masses opaques, l'image est traversée par des lignes obscures ou noires provenant de l'absorption de la lumière dans son trajet au travers de cette atmosphère absorbante.

M. W. Huggins, conjointement avec M. Miller, a observé les spectres des astres au moyen de la réfraction à travers deux prismes de flint, et les positions des raies obscures ou lumineuses de ces images ont été comparées à celles des bandes lumineuses observées simultanément en faisant passer des étincelles entre des conducteurs métalliques de différente nature, comme on le verra dans le cinquième livre.

L'étude des images prismatiques de la lune leur a offert la même disposition que la lumière solaire, et sans que rien vint indiquer la présence d'une atmosphère autour de notre satellite. La plupart des planètes n'ont pas offert des différences bien grandes et dignes d'être signalées, à l'exception de Jupiter, dont l'image a présenté une raie correspondant à quelques raies atmosphériques terrestres, ainsi qu'une autre bande obscure qui n'a pas sa correspondante parmi les raies du spectre solaire, et qui semblerait signaler dans l'atmosphère de cette planète la présence de quelque gaz ou vapeur qui n'existe pas dans notre atmosphère.

Les images réfractées des étoiles fixes leur ont appris que ces astres ressemblent au soleil quant au plan de leur constitution, et que leur lumière semble émaner en général d'une matière incandescente entourée de vapeurs absorbantes, mais qu'il existe une grande diversité de composition. Comparant la position des raies de ces images prismatiques avec celles des bandes lumineuses des flammes dans lesquelles se trouvent différents éléments chimiques, et dont il va être question dans le chapitre suivant, et en raisonnant dans cette hypothèse que la coexistence des mêmes raies indique la présence probable des mêmes substances, ils ont reconnu qu'à part plusieurs exceptions, ceux des éléments terrestres qui sont le plus répandus dans les spectres des étoiles

sont ceux qui sont essentiels à la vie sur la terre, savoir l'hydrogène, le sodium, le magnésium et le fer.

Parmi les résultats observés par M. Huggins, on peut citer les suivants : β de Pégase contient du sodium, du magnésium et probablement du barium; α de la Lyre, Véga, du sodium, du magnésium et du fer; Sirius, du sodium, du magnésium, du fer et de l'hydrogène; Pollux, du sodium, du magnésium et du fer. Toutes les étoiles soumises à l'analyse prismatique semblent posséder quelques éléments communs au soleil et à la terre, mais probablement dans chaque étoile leur groupement est différent.

α d'Orion et β de Pégase offrent, comme un petit nombre d'étoiles une particularité digne de remarque : c'est l'absence caractéristique des deux lignes de l'hydrogène, l'une dans le bleu qui correspond à F, l'autre dans le rouge qui se confond avec C. Il n'y aurait donc pas d'eau dans leur atmosphère.

On a beaucoup d'exemples d'étoiles qui brillent temporairement avec un vif éclat, puis diminuent d'intensité ou même cessent tout à fait d'être visibles; telle est l'étoile qui brilla tout à coup en mai 1866 dans la Couronne boréale, et après plusieurs jours tomba au-dessous de la 10^e grandeur. L'étude prismatique montra un spectre à raies noires, mais contenant quatre raies brillantes qui semblent indiquer qu'une incandescence temporaire, peut-être une combustion subite d'hydrogène, produit ce curieux phénomène.

Les nébuleuses sont, comme on le sait, les unes résolubles en étoiles dont la distance jusqu'à nous est immense, et les autres formées de matière qui n'est pas suffisamment agglomérée pour constituer des astres. L'analyse prismatique vient à l'appui de cette conjecture, car les images des spectres des nébuleuses non résolubles sont à lignes lumineuses indiquant l'état gazeux des matières qui les constituent. Mais l'étude de ces astres est très-difficile en raison de la faiblesse de leur lumière.

En même temps que M. Huggins s'est livré à ces recherches d'astronomie physique, le père Secchi a étudié de son côté les mêmes questions avec non moins de persévérance.

L'emploi d'un appareil à vision directe analogue à un de ceux qui seront décrits un peu plus loin dans ce livre lui a permis de soumettre à l'analyse prismatique les étoiles jusqu'à la septième grandeur; aussi le nombre de celles dont il a pu étudier la lumière monte-t-il déjà à plusieurs centaines. Il a reconnu qu'il y a une certaine

uniformité dans la constitution lumineuse des astres et non pas une **très-grande** diversité, comme on pouvait s'y attendre. En comparant les **images** prismatiques observées, il a vu qu'elles pouvaient se partager en **trois** groupes ou se rapporter à trois types, et qu'il était fréquent de **trouver** des étoiles de même type dans la même région du ciel; cependant, il y a des exceptions.

Le 1^{er} type comprend les étoiles colorées (en jaune ou en rouge) comme α d'Orion, α du Scorpion, φ de Pégase, etc. Ces astres ont un **spectre** formé de larges bandes. D'après ce que l'on verra plus loin, ils **auraient** une incandescence moins vive que les autres astres, et **seraient** entourés d'une atmosphère assez épaisse.

Le 2^e type comprend les étoiles blanches faiblement colorées, dont les **spectres** possèdent des raies noires très-fines et bien arrêtées comme **Arcturus**, α de la grande Ourse, β de l'Aigle, la Chèvre, Procyon, etc. Ces astres se rapprochent du type solaire.

Le 3^e type comprend les étoiles blanches et bleues telles que **Sirius**, **Véga**, α de l'Aigle. Les spectres de ces astres sont caractérisés par une **large** bande dans le bleu à la place de la raie F, par une 2^e bande dans le violet et parfois par une 3^e bande dans le violet extrême, **concurrentement** avec des lignes noires très-fines. La moitié au moins des **étoiles** visibles appartiennent à ce type.

Quelques astres font exception; ainsi dans l'étoile γ de Cassiopée la **ligne F** est une ligne brillante; le contraste est remarquable, car en **examinant** des étoiles voisines dans la même constellation, on trouve que cette ligne est obscure. Si l'on raisonne dans l'hypothèse de **M. Kirchhoff**, sur la production des raies du spectre, hypothèse dont il sera question plus loin, on voit que la même substance gazeuse (peut-être l'hydrogène ou la vapeur d'eau) qui dans l'étoile γ de Cassiopée, est **incandescente** et se comporte comme source de lumière, est au contraire répandue autour des astres qui présentent en noir la ligne F, et agit comme substance absorbante.

On comprend tout l'intérêt que présentent ces recherches, et quelle est l'importance pour l'étude de l'astronomie de l'analyse spectrale des **différents** astres si les moyens d'observation viennent à être perfectionnés et que l'on puisse étudier plus complètement la lumière des **nébuleuses**, celle des astres qui changent de forme ou d'éclat, enfin celle des différents météores. comme on étudie la lumière des étoiles les plus brillantes.

§ 2. *Spectre ultra-violet.*

Le spectre solaire n'est pas limité aux dernières lignes dessinées par Fraunhofer du côté du violet ; au-delà se trouvent des rayons très-réfrangibles dont l'action chimique ainsi que l'action de phosphorescence est puissante. On a vu dans le livre I^{er}, page 31, quelles ont été les premières recherches faites par Ritter et par Wollaston pour constater l'extension du spectre au-delà du violet. En 1840, M. J. Herschell (1) en étudiant l'action du spectre sur des substances chimiquement impressionnables ne put observer s'il existe des espaces inactifs dans le spectre chimique et correspondant aux raies noires du spectre lumineux. Deux ans après (2), je démontrai non-seulement l'existence de raies noires dans les images photographiques, c'est-à-dire l'existence des parties inactives, mais encore l'identité des raies que l'on pouvait voir dans les parties lumineuses où des impressions photographiques avaient lieu, avec les raies tracées photographiquement sur les mêmes impressions.

La méthode dont je fis usage consiste à projeter sur un écran un spectre produit par un prisme de flint-glass très-pur et une lentille de 1 mètre de foyer. La lentille est placée immédiatement derrière le prisme, à 2 mètres de la fente par laquelle entrent les rayons solaires ; l'écran est situé à 2 mètres environ de la lentille et est disposé pour recevoir les papiers enduits de matières impressionnables, sels d'argent, etc., ou bien les plaques d'argent iodurées. Après une exposition plus ou moins longue, on trouve représentées sur les surfaces impressionnables un très-grand nombre de raies ; elles ont été dessinées sur une planche annexée au mémoire cité ci-contre. En mesurant leurs distances respectives, on reconnaît qu'entre A et H ce sont les mêmes raies que pour les rayons lumineux et identiquement aux mêmes places : seulement, on ne voit dans les images du spectre chimique que les grosses raies et les moyennes, car en général le spectre n'est jamais aussi net que vu à travers une lunette dont on peut déplacer l'oculaire, la position du foyer de l'oculaire, quand on examine différentes parties du spectre, dépendant de la réfrangibilité des rayons actifs. Dans des

(1) *Philosoph. transact.*, 1840. — *Philosoph. magazine*, 1840. — *Biblioth. univ. de Genève*, t. 26, p. 404.

(2) *Bibliothèque univ. de Genève*, t. 40, 1842.

cherches faites l'année suivante (3), j'indiquai comment en agrandissant beaucoup le spectre on obtenait les raies très-écartées et comment on pouvait en avoir de très-déliées. On voit, d'après cela, que les mêmes raies existent dans le spectre lumineux et dans le spectre chimique, et que la même cause a déterminé leur production.

Au delà de H, le spectre chimique a une infinité de raies; jusqu'en M peu près elles sont encore les mêmes que celles du spectre lumineux; au delà les rayons lumineux s'affaiblissent toujours, et on ne peut plus les comparer. La deuxième partie de la planche figure 13 peut servir à suivre la description ci-après indiquée; cette figure représente un spectre plus étendu que celui que j'ai décrit, car il a été obtenu au moyen d'expériences faites avec des prismes en quartz, comme on le verra plus loin. Les lettres placées au bas de la figure se rapportent aux dénominations que j'ai données; celles placées au-dessus ont été employées par les physiciens dont il sera question plus loin.

Après H on voit un très-grand nombre de raies, et parmi celles-ci une raie I très-large, formée par la réunion d'un certain nombre de raies plus petites. Après elle, en M, viennent quatre raies remarquables par leur netteté; elles sont égales en grosseur et à peu près à égale distance; la dernière seule est un peu plus éloignée. Au-delà de ces raies, en N, se trouvent quatre autres raies plus fortes que les précédentes, presque égales entre elles, la quatrième un peu plus large que les autres. Il existe en O deux grosses raies à la même distance entre elles que les deux raies H, la première étant un peu plus forte que la seconde. Ensuite viennent d'autres fortes raies, parmi lesquelles on distingue la raie P, qui est très-forte et très-noire; après celle-ci il y en a d'autres, mais à peine distinctes, car avec le flint on est presque à la limite à laquelle s'étend le spectre chimique.

J'ai démontré également que les parties actives du spectre sur les matières phosphorescentes, pour les mêmes régions du spectre, possèdent des raies identiques aux raies lumineuses et aux raies chimiques. Ces recherches m'ont conduit à cette conclusion que les phénomènes lumineux, chimiques et de phosphorescence, et l'on peut ajouter calorifiques, proviennent d'un seul et même agent, dont l'action est modifiée suivant la nature de la matière sensible; la seule différence consiste en ce que chaque effet a lieu entre des limites diverses de réfrangibilité.

(3) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 9, 1843.

Ainsi c'est le même rayonnement qui produit ces effets, et quand des rayons d'une certaine réfrangibilité viennent à manquer, il se manifeste une raie, c'est-à-dire qu'il y a absence d'action pour toute espèce d'effet qui aurait lieu dans la partie du spectre que l'on considère. C'est pour ce motif qu'il suffit de nommer spectre ultra-violet la partie de l'image prismatique composée de rayons plus réfrangibles que H.

Depuis ces recherches plusieurs physiciens ont reproduit des images photographiques des raies de la partie ultra-violette sans apporter d'autres modifications à la méthode que j'ai suivie que la substitution d'un prisme et d'une lentille de quartz aux prismes et lentilles de flint ; cette substitution leur a seulement permis d'aller plus loin, le quartz étant plus transparent que le verre pour les rayons très-réfrangibles. On peut citer les dessins faits par MM. Draper, Karsten et Miller (1).

M. Muller (2) a reproduit photographiquement différentes parties séparées du spectre et a donné un dessin qui les réunit toutes et qui s'étend assez loin ; c'est celui d'après lequel on a dessiné les raies allant jusqu'en R dans la seconde partie de la planche figure 13, et qui depuis H en contient environ 80 bien nettes.

M. Mascart (3), dans un travail sur le spectre solaire ultra-violet et sur la détermination des longueurs d'onde, s'est servi de prismes en spath d'Islande, et a été plus loin encore que ces physiciens. Son spectre contient 700 raies distinctes depuis H jusqu'en T. Quant aux dénominations des lignes remarquables dans la partie ultra-violette, elles sont indiquées à la partie supérieure de la 2^e partie de la planche 13 : au lieu de la lettre I, que j'avais proposée, on a mis la lettre L pour désigner le même groupe de lignes ; M reste à la place où je l'ai indiqué ; le groupe que j'avais nommé O a été appelé N, et le groupe P de la figure que j'avais dessinée est désigné par O.

On a vu plus haut que les phénomènes de phosphorescence pouvaient indiquer la présence des raies dans la partie la plus réfrangible du spectre ; en 1852, M. Stockes (4), au moyen des effets analogues, mais qui se manifestent avec des substances organiques telles que du papier enduit de sulfate de quinine, et comme on le verra dans le livre VI, montra que l'on pouvait rendre ces raies immédiatement visibles. Le

(1) *Transactions philosophiques*, 1859 et 1862.

(2) Müller, *Lehrbuch der Physik*, 1863, tome 1^{er}, planche 4.

(3) *Annales scientifiques de l'école normale supérieure*, t. 1, 1864.

(4) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 44.

dessin qu'il fit à cette occasion présente les plus grandes analogies avec celui que j'avais donné en 1842. En même temps, M. Stockes remarquant que les verres ordinaires absorbaient une grande partie des rayons les plus réfrangibles, fit usage de prismes et de lentilles en quartz.

Les rayons plus réfrangibles que les rayons violets ne sont pas absolument invisibles, mais agissant moins vivement sur la rétine que les rayons colorés, il faut éliminer ceux-ci autant que possible pour qu'ils puissent impressionner nos yeux. Alors on peut distinguer à la vue presque tous les rayons qui agissent chimiquement, et voir à peu près toutes les raies qui sont dessinées sur la 2^e partie de la planche figure 13. Mais ne serait-ce pas par une action particulière de phosphorescence des liquides de l'œil que cet effet serait produit ?

M. J. Herschell avait montré que les rayons situés au delà du violet pouvaient agir sur la rétine en donnant une nuance qui n'était pas violette et qu'il avait nommée gris-lavande. En 1844, M. Matthiessen, peu de temps après la publication de mes deux mémoires, construisit un petit appareil qu'il nomma lentiprisme, et qui était formé d'un prisme accolé à une lentille cylindrique de façon que l'axe du cylindre fût parallèle à l'arête du prisme. En regardant directement l'image d'une fente bien éclairée, il put distinguer les raies du spectre au delà du violet presque jusqu'en R. Je possède une lithographie d'un dessin du spectre qu'il fit faire et qu'il me remit à cette époque, et qui renferme les différentes raies qu'il avait observées jusqu'en P; ce sont les mêmes que celles que j'avais dessinées.

MM. Helmholtz (1) et Esselbach (2) ont employé des moyens analogues, mais en opérant à l'aide de prismes et de lentilles en quartz, et en prenant des dispositions pour éliminer, à l'aide d'écrans, toute trace de lumière étrangère et pour augmenter l'intensité des rayons actifs. Ils ont pu reconnaître avec la vue, comme M. Matthiessen, les raies dont j'avais montré l'existence et qui ont été indiquées plus haut.

§ 3. Spectre infra-rouge.

Le spectre solaire n'est pas plus limité à l'extrême rouge vers la raie A qu'à l'extrême violet; en deçà non-seulement des actions calori-

(1) *Ann. de Poggend.*, t. 94. — *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 44.

(2) *Ann. de Pogg.*, t. 98. — *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 50.

fiques peuvent se produire, mais encore on peut obtenir des effets de phosphorescence, comme on le verra dans le livre VI. W. Herschell, ainsi qu'on l'a vu livre 1^{er}, page 31, découvrit cette extension des effets calorifiques au delà du rouge, et montra combien elle peut s'étendre loin; Seebeck (1) observa que le maximum d'action calorifique se déplaçait avec la nature du prisme et pouvait se trouver dans l'espace rouge, c'est-à-dire dans la partie lumineuse prismatique, et Melloni (2) montra que cet effet tenait à l'inégale absorption des rayons de la partie invisible, moins réfrangible que le rouge, par les matières des prismes. Avec le sel gemme, qui est le corps le plus transparent connu jusqu'ici pour les rayons les moins réfrangibles, il trouva que le maximum d'effet calorifique se trouvait en dehors de l'extrême rouge, à une distance de cette extrémité à peu près égale à celle qui sépare le rouge du bleu-vert, c'est-à-dire au delà de la ligne B, à peu près à une distance égale à B F. Ces recherches ont été confirmées depuis par les physiciens qui se sont occupés de ce sujet; ainsi, l'étendue du spectre infra-rouge peut être au moins égale à celle du spectre visible. On reviendra du reste sur ce sujet dans la deuxième partie de cet ouvrage.

Il est nécessaire pour l'étude de cette partie du spectre d'avoir recours à des réactions qui se produisent sous l'influence des rayons dont elle est composée. Sous ce rapport les phénomènes calorifiques sont peut-être les seules réactions qui puissent être observées dans toute l'étendue du spectre infra-rouge; mais leur intensité est loin d'être suffisante, et les appareils thermométriques employés, thermomètres ou piles thermo-électriques, étant relativement moins sensibles que la rétine, ne l'est pour les rayons colorés et que les corps chimiquement impressionnables ne le sont pour les rayons ultra-violet, il est nécessaire d'augmenter beaucoup l'intensité du spectre actif, et même dans ces conditions on n'a pu jusqu'ici que reconnaître quelques particularités de cette portion du spectre. D'un autre côté, le sel gemme quoique transparent, n'est pas suffisamment limpide pour qu'on puisse voir les raies comme avec le verre, le quartz, le spath, etc.; du moins ceux que j'ai eus à ma disposition n'ont pas été d'une limpidité suffisante; on est donc obligé d'avoir recours à d'autres matières, dont l'absorption limite l'étendue la moins réfrangible de l'image prisma

(1) *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1819.

(2) *Journal l'Institut*, tome 1^{er}, page 212.

tique et qui peuvent même faire naître des bandes d'absorption dans certaines parties de cette image.

On a dit plus haut, page 130, que les rayons rouges s'étendent un peu au delà de la double ligne A, et qu'en employant un verre bleu de cobalt, qui élimine les rayons dont l'intensité lumineuse est la plus grande, cette extension était visible. M. Matthiessen, en 1844, et sur le même dessin des lignes du spectre dont j'ai parlé page 141, a indiqué que de A à une distance à peu près égale à A a il existe une bande obscure formée de lignes fines au milieu desquelles se trouve une ligne plus forte. En 1860, M. Brewster, dans le mémoire déjà cité, étendit un peu plus loin cette étude, et indiqua des raies et des bandes dans la région très-rapprochée de A. En résumé, la vision directe ne permet d'étendre que très-peu le spectre au delà de A.

MM. Fizeau et Foucault (1), en faisant usage de thermomètres dont la capacité avait une très-petite dimension, ont indiqué dans le spectre formé avec un prisme en flint l'existence d'une large bande obscure dans la partie infra-rouge et à peu près à la même distance de A que la ligne D. On conçoit que les lignes les plus fines ne pouvaient être rendues manifestes de cette manière.

M. J. Herschell (2) a donné un moyen d'étude du spectre calorifique, lequel consiste à enduire d'un côté un papier à l'aide de noir de fumée et de l'imbiber d'éther ou d'alcool; en projetant le spectre sur le côté opposé du papier quand il est encore humide, on voit que l'évaporation donne lieu à des taches inégalement distribuées du côté du rouge, et s'étendant au delà de cette couleur. Mais ce procédé est trop imparfait pour qu'on puisse baser sur son emploi une étude de la partie la moins réfrangible du spectre, car l'évaporation n'est pas limitée à la portion du papier directement échauffée.

Si des actions chimiques pouvaient se produire sous l'influence des rayons moins réfrangibles que les rayons rouges on aurait facilement les raies qui pourraient se trouver dans cette partie du spectre; comme on le verra dans la deuxième partie de cet ouvrage, des actions chimiques peuvent bien s'étendre au delà du rouge, mais cette extension est toujours restreinte et ne va pas loin au delà de la raie A. Les effets de phosphorescence permettent d'atteindre ce but, non pas dans toute l'é-

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 25, p. 447, 1847.

(2) *Philosoph. magazine*, avril 1840. — *Biblioth. univ. de Genève*, t. 26, p. 404, 1840.

tendue du spectre infra-rouge, car la partie active ne s'étend pas aussi loin que celle qui agit pour élever la température des corps, mais enfin jusqu'à une distance de A égale à celle de AE au moins; ces effets ne sont pas aussi faciles à observer que les actions chimiques, mais ils donnent quelques indications assez intéressantes.

Voici le procédé dont j'ai fait usage, et sur lequel je reviendrai dans le livre VI à propos de l'action des rayons de diverse réfrangibilité sur les corps phosphorescents : On enduit une feuille mince de carton de sulfure de strontium phosphorescent vert, ou bien de sulfure de zinc hexagonal phosphorescent (1), en mettant sur le carton une couche mince de gomme arabique et en projetant sur la surface à l'aide d'un tamis une petite couche de la matière. Quand la surface est sèche, on l'expose entièrement à la lumière diffuse, puis immédiatement après on rentre dans la chambre noire, et l'on projette sur elle un spectre très-étendu et très-intense présentant les lignes noires. Au bout de quelques instants, en refermant l'ouverture de la chambre noire, on voit que toute la surface du carton est encore lumineuse, sauf dans la partie située depuis la raie F jusqu'au delà de A, où la phosphorescence se trouve détruite. On verra en effet que cette partie du spectre n'agit pas de la même manière que la partie la plus réfrangible, et donne lieu à une destruction de la phosphorescence produite par les autres rayons. S'il y a des raies ou des espaces inactifs, elles demeurent brillantes par rapport aux parties voisines du spectre. Par ce moyen on ne peut qu'opérer très-rapidement, car la faiblesse de la teinte lumineuse émise par l'action propre de la matière ne permet pas de distinguer les lignes; mais si à cet instant on élève la température de l'envers de la carte à l'aide d'une lampe à alcool, on voit aussitôt la lumière augmenter partout excepté dans les parties où les rayons les moins réfrangibles ont agi; les lignes lumineuses dans ce cas indiquent les raies ou les espaces inactifs du spectre solaire.

N'ayant pas encore terminé les recherches que je fais sur ce sujet, je ne donnerai pas le dessin des espaces inactifs que j'ai observés; on trouvera seulement sur la planche fig. 32 l'indication d'un espace obscur dont on reconnaît la présence en employant des prismes en flint très-blanc, ou des prismes en sulfure de carbone. Ce large espace inactif paraît correspondre à celui dont on a parlé plus haut, et est situé à

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 63, p. 143; 1866.

là de A, à une distance qui est environ égale à A D ; mais plus loin il y a comme un espace plus étroit, où la destruction de l'action de phosphorescence a lieu plus vivement qu'autour : c'est comme une sorte de large zone active, peut-être divisée en deux, moins large que l'intervalle des deux raies H, et qui serait une ligne brillante si cette partie du spectre pouvait être visible. Plus près du rouge j'ai observé une ligne semblable plus étroite.

Il serait nécessaire d'opérer avec un prisme et une lentille en sel gemme pour savoir jusqu'à quel point la matière du prisme n'influe pas sur les effets observés ; mais, d'après ce qui a été dit plus haut, je n'ai pu me procurer jusqu'ici d'échantillon de sel gemme assez pur pour distinguer nettement les raies du spectre.

§ 4. Longueur d'onde des rayons de diverse réfrangibilité.

La théorie des ondulations suppose que les vibrations des molécules des corps lumineux sont transmises par l'intermédiaire de l'éther, par des ondulations successives, comme les vibrations sonores, mais avec une vitesse beaucoup plus grande et dans des conditions autres quant à la direction de ces vibrations. La longueur d'onde pour un rayon lumineux est alors la distance de deux ondes consécutives, c'est-à-dire l'espace parcouru par la lumière pendant le temps que met une molécule éthérée à effectuer une vibration entière.

La couleur d'un rayon de lumière est essentiellement liée à la longueur d'onde, et les observations d'Arago sur les étoiles changeantes ont montré que dans les espaces planétaires tous les rayons lumineux se propagent avec la même vitesse. Et appelant donc V la vitesse de la propagation de la lumière par seconde dans le vide, n le nombre de vibrations faites pendant ce temps, et λ la longueur d'une onde entière relative au rayon que l'on considère, on aura la relation

$$V = n \lambda.$$

Les recherches sur les interférences, ainsi que celles sur les effets de diffraction observés avec les réseaux, ont permis de calculer directement les longueurs d'onde λ entre les limites extrêmes de réfrangibilité A et H des rayons visibles ; les observations de Newton sur les couleurs des anneaux minces, les travaux de Fresnel (1), mais surtout les déterminations

1) *Mém. de l'Acad. des sciences*, t. 5, 1821.

tions de Fraunhofer (1) ont conduit à des valeurs peu différentes de celle qui ont été trouvées depuis par différents physiciens (2).

L'observation des spectres des réseaux avec les rayons ultra-violet ont fait le sujet des recherches de M. Mascart (3), et lui a permis de donner des évaluations s'étendant jusqu'aux dernières limites des rayons qui influent sur les matières chimiquement impressionnables.

Quant aux rayons infra-rouges, dont l'étude présente certaines difficultés, comme on l'a vu page 141, on n'a pu obtenir des valeurs que dans des circonstances particulières et pour une réfrangibilité bien déterminée; ainsi M. Fizeau (4) a montré comment on pouvait calculer la longueur d'onde d'une partie du spectre en dehors du rouge où se trouve la bande obscure dont il a été question plus haut, et qui est placée peu près à la distance de la ligne A, égale à celle de A à D. Si l'on veut avoir une idée de la longueur d'onde des rayons moins réfrangibles, faut admettre une relation empirique entre cette quantité et la réfrangibilité des rayons (5); mais on n'a de cette manière que des nombres sans l'exactitude desquels l'expérience n'a pas prononcé. Il faut espérer que des recherches seront entreprises dans cette direction et pourront conduire à des évaluations directes des longueurs d'onde des rayons calorifiques les moins réfrangibles.

Si l'on admet pour la vitesse de la lumière 300000 kilomètres par seconde, on aura d'après la formule indiquée plus haut pour les valeurs moyennes de λ et de n correspondant aux rayons différemment réfrangibles du spectre solaire :

(1) *Mém. de l'Acad. de Munich.*, et *Ann. de Gilbert*, t. 74.

(2) *Ann. de chimie et de physique*, t. 49, p. 504. — *Ibid.*, t. 50. *Ann. de Poggen-dorf*, t. 98 et 123. — *Comptes rendus de l'Acad.*, t. 58, p. 1153, 1864. — *Ann. de l'École normale*, t. 1, 1864.

(3) *Ann. de l'École normale*, t. 1^{er}.

(4) *Bulletin de la Société philomatique*, t. 3, p. 108, décembre, 1847. — Billet, *Traité d'optique*, t. 1, p. 45.

(5) Müller, *Lehrbuch der Physik*, 1863, t. 2, p. 745.

PARTIES DU SPECTRE SOLAIRE INDIQUANT LA RÉFRANGIBILITÉ DES RAYONS.	LONGUEUR D'ONDE λ EN MILLIONIÈMES DE MILLIMÈTRE.	NOMBRE DE VIBRATIONS n PENDANT UN MILLIONIÈME DE SECONDE.
Limite extrême des rayons calorifiques du spectre solaire formé avec un prisme en sel gemme (Müller).	4800?	63000000
Limite extrême des rayons calorifiques du spectre solaire formé avec un prisme en flint (Fizeau).	1940?	155000000
Partie du spectre extra-rouge où se trouve une large raie.	1445	208000000
A (extrême rouge).	761	394000000
D (jaune).	589	509000000
F (commencement du bleu).	486	617000000
H (extrême violet).	396	758000000
Derniers rayons chimiques actifs (1).	317	946000000

Les deux premières évaluations reposent sur des formules empiriques, comme on l'a vu plus haut; les autres sont déduites des expériences de diffraction.

On voit que pour les rayons les plus lumineux du spectre la longueur d'onde est un peu plus grande que 500 millièmes de millimètre ou $\frac{1}{2}$ millième de millimètre, et que le nombre de vibrations des molécules éthérées qui transmettent cette lumière est à peu près de 500 millions par chaque millièème de seconde.

On peut remarquer avec quelle rapidité croît la longueur d'onde quand la réfrangibilité diminue, surtout dans les rayons les moins réfrangibles; car en passant de D à A, elle augmente à peu près de $\frac{1}{4}$ de sa valeur, tandis qu'en passant de A à la partie du spectre solaire où se trouve une large raie infra-rouge, elle est presque doublée. Au delà, la longueur d'onde des rayons calorifiques extrêmes, si la supposition d'où l'on est parti est exacte, serait dix fois plus grande que celle des rayons bleus. Dans la partie ultra-violette au contraire, une différence très-petite dans la longueur d'onde correspond à une grande différence dans la réfrangibilité.

(1) M. Mascart a trouvé qu'avec les rayons émis lors de l'incandescence du cadmium on avait des rayons réfractés bien plus réfrangibles encore et pouvant donner une longueur d'onde presque moitié de celle relative à H; cette longueur d'onde peut descendre à 220, et le nombre de vibrations est alors de 1364000000 par millièème de seconde.

Newton (1), dans ses recherches sur les couleurs des lames minces, fait remarquer que les épaisseurs des couches d'air entre les lames de verre qui donnent lieu au phénomène des anneaux colorés, là où le anneaux sont formés par la limite des sept teintes principales du spectre sont entre elles comme les racines cubiques des carrés des nombres 1, $\frac{8}{9}$, $\frac{5}{8}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{5}$, $\frac{9}{16}$, $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire des nombres qui expriment les longueurs d'une corde de musique rendant les notes suivantes d'une gamme : ut ré, mi b, fa, sol, la, si, ut.

Si cette loi existait, elle aurait également lieu entre les longueurs de ondes lumineuses, qui sont proportionnelles aux épaisseurs ci-dessus indiquées. Il serait très-curieux en effet qu'il y eût entre les longueurs d'onde des divers rayons colorés des rapports simples semblables à ceux que l'on trouve en acoustique pour exprimer les intervalles musicaux.

Pour montrer quels sont les rapports qui peuvent exister entre les longueurs d'onde de rayons lumineux de couleur bien définie, je citerai les valeurs relatives aux parties du spectre solaire dont les teintes d'après M. Chevreul (2), donnent les principales couleurs simples; les longueurs d'onde sont déduites des recherches les plus récentes :

RAIES DU SPECTRE SOLAIRE.	COULEUR DES RAYONS.	LONGUEUR D'ONDE λ .	LONGUEUR D'UNE CORDE RENDANT DIFFÉRENTS SONS m.	PRODUIT λ m.
A	Extrême rouge du spectre.	761,0	$\frac{1}{2}$ (ut).	380,5
Milieu de B à C.	Rouge.	671,4	$\frac{3}{5} \times \frac{25}{24}$ (la #).	386,6
Près de D à $\frac{1}{8}$ de D E.	Jaune.	581,1	$\frac{2}{3}$ (sol).	387,7
Milieu entre E et b.	Vert.	521,7	$\frac{3}{4}$ (fa).	391,2
F	Bleu.	486,0	$\frac{4}{5}$ (mi).	388,8
H	Violet.	396,7	1 (ut).	396,7

Les rapports qui se déduisent de cette comparaison ne sont pas semblables à ceux que Newton avait indiqués, et qui ont été rapportés plu :

(1) *Traité d'optique*, livre 2, traduction de Coste, p. 280.

(2) *Mémoires de l'Acad. des sciences de l'Institut de France*, t. 33, p. 39.

it, car les longueurs d'onde relatives aux différentes couleurs simples, près ce qui précède, seraient simplement en raison inverse des longueurs d'une corde rendant des sons à divers intervalles musicaux. On ne saurait attacher beaucoup d'importance à des comparaisons de ce genre; en effet, les longueurs d'onde entre A et H ne varient que dans un rapport de 2 à 1 comme les longueurs d'une corde qui rend un son une octave aigu, et quand même il n'y aurait aucune loi semblable entre les deux ordres de phénomènes, entre les deux nombres 1 et 2 se trouveraient nécessairement les valeurs intermédiaires des longueurs d'onde, qui arrivent toujours à différer très-peu des nombres exprimant les divers intervalles musicaux; d'un autre côté, les limites des couleurs du spectre lumineux ne sont pas nettement tranchées, et plusieurs raies de l'image prismatique, comme le vert, le bleu, occupant une raie étendue sans que leur nuance change d'une manière notable, les rayons qui impressionnent la rétine à peu près de la même manière peuvent avoir des longueurs d'onde différentes. On ne peut donc déterminer actuellement d'une manière affirmative si les longueurs d'onde des rayons relatifs aux différentes couleurs ont entre eux des rapports simples, comme les intervalles musicaux.

CHAPITRE II.

Sources lumineuses par incandescence.

§ 1^{er}. Appareils destinés à l'étude spectrale ou spectroscopes.

On a vu précédemment que Fraunhofer, dans ses recherches sur le spectre lumineux, avait fait usage d'un prisme de flint très-pur placé sur un théodolite, et qu'il examinait avec une lunette l'image d'une ouverture longitudinale vue par réfraction au travers du prisme. La disposition la plus simple, quand on ne veut pas mesurer les distances angulaires des lignes lumineuses ou obscures, consiste à se servir d'un appareil muni d'un collimateur, comme le goniomètre de M. Babinet, et n'ayant

pas de cercle divisé. L'appareil représenté (fig. 14), et disposé comme l'ont indiqué MM. Kirchhoff et Bunsen, est généralement employé.

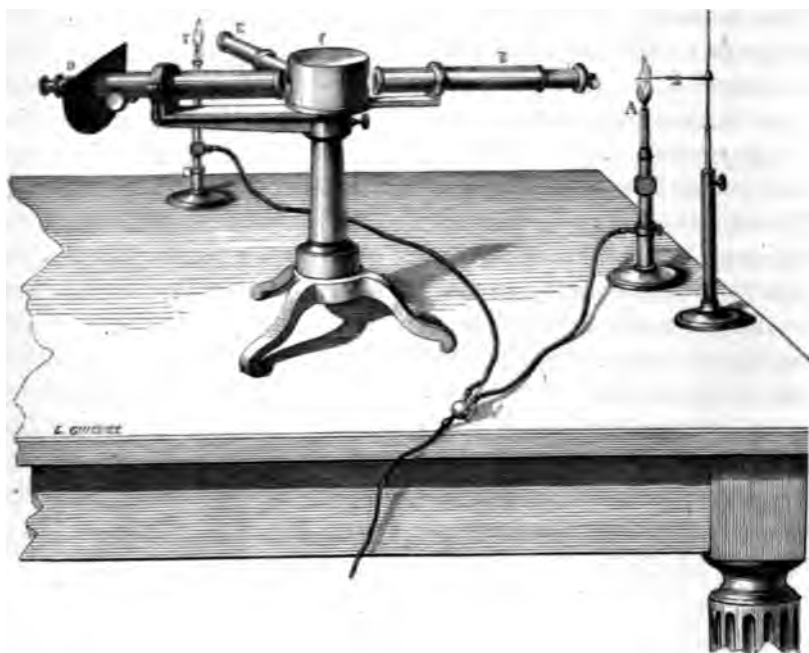


Fig. 14.

En C se trouve un prisme en flint: il est couvert d'une boîte cylindrique en cuivre, percée d'ouvertures en face des lunettes B, D et E, afin d'éliminer les rayons de lumière diffuse qui tomberaient de différents côtés sur le prisme. B est une lunette faisant collimateur; elle porte une fente verticale très-déliée, laquelle, étant au foyer de la lentille de la lunette, rend parallèles les rayons qui viennent tomber sur le prisme; on peut du reste, avec une vis, faire varier l'ouverture de la fente. Une lunette oculaire D permet de viser cette fente au travers du prisme et du collimateur; elle est portée sur une alidade qui peut recevoir un mouvement de rotation autour de la verticale passant par le prisme C, de façon à faire varier sa position par rapport au prisme. On peut ainsi viser sur telle partie que l'on veut de l'image prismatique.

Une disposition ingénieuse permet à l'observateur de voir en même temps que l'image du spectre produite par une source lumineuse A,

Les traits d'un micromètre éclairé qui donne les distances comparatives des diverses raies obscures ou lumineuses. Pour cela ce micromètre est tracé sur une plaque en verre E, et est éclairé par transparence au moyen de la flamme d'une bougie F; il est placé dans le tube E faisant collimateur, et son image est réfléchiée sur la face du prisme de flint qui est du côté de l'observateur, de façon à être vue dans la lunette D en même temps que le spectre de la flamme A. Des vis déplacent le micromètre de bas en haut et de côté de manière à faire coïncider telle division que l'on voudra avec une des raies de la lumière que l'on étudie.

A l'extrémité du collimateur B se trouve en face de la fente un petit prisme en verre faisant fonction de miroir et couvrant la moitié de la fente. On peut faire réfléchir, au moyen de ce prisme, les rayons solaires ou les rayons d'une autre source lumineuse, lesquels, pénétrant par la même fente que la lumière A, donnent un second spectre vu en même temps que le premier dans la lunette, et qui se trouve placé au-dessus ou au-dessous, parallèlement à lui, suivant la position du prisme. On peut donc au moyen de cette disposition comparer les parties de même réfrangibilité de deux sources lumineuses et vérifier si des raies occupent les mêmes places dans les deux images, en même temps que le micromètre donne les distances relatives des différentes raies entre elles.

Cet appareil n'offre pas une grande dispersion et ne peut servir quand on veut examiner les positions des raies les plus déliées des sources lumineuses par rapport aux raies du spectre solaire; on a recours alors à des spectroscopes à plusieurs prismes. Celui qui est représenté fig. 15, page suivante, porte six prismes; le collimateur auquel est fixé la fente mobile est en A; un petit prisme en couvre la moitié comme dans l'appareil précédent, et permet de comparer les raies de deux sources de lumière. Les rayons lumineux émis par la source L, traversent le collimateur A, peuvent se réfracter successivement dans les prismes et sont ensuite reçus par la lunette oculaire B. De plus, un système de bras de levier peut déplacer à la fois tous les prismes pour permettre de viser sur telle partie du spectre que l'on veut. L'image d'un micromètre C, éclairé par l, est réfléchiée sur la face antérieure du prisme n° 6, qui est devant la lunette oculaire B, et des vis peuvent changer sa position, comme dans le spectroscopé décrit plus haut (1).

Les appareils à plusieurs prismes sont destinés à donner une grande dis-

(1) L'appareil figuré ici a été construit avec soin par M. J. Duboscq, et se trouve dans les galeries du Conservatoire impériale des arts et métiers.

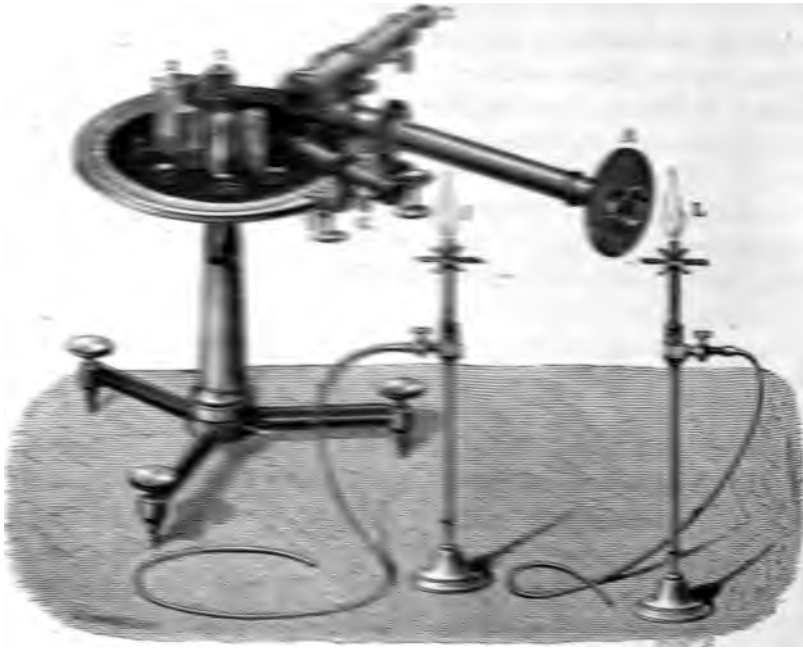


Fig. 16.

personnel aux angles correspondants et l'on peut même en faire, jusqu'à l'extrême des spectres, des cristaux de nitrate d'ammonium et de sulfate de carbone.

On a construit des appareils à vision directe qui ne donnent pas une dispersion aussi grande que les spectromètres, mais qui sont très-commodes surtout pour les observations astronomiques, alors que les intensités lumineuses ne sont pas très-considérables et qu'il est plus facile de passer instantanément dans la vision même ou la vision simple. Parmi ces appareils, j'indiquerai ceux qui sont fondés sur l'emploi des systèmes de prismes réfractifs (fig. 16 et fig. 17).

M. Amici (1) a eu l'idée, pour rendre plus faciles les observations du spectre, d'associer deux prismes de crown à un prisme de flint compris entre eux, ce dernier ayant un angle de 90° opposé à ceux des deux autres prismes. On peut arriver à donner à ceux-ci un angle tel que le faisceau incident ressorte à peu près parallèlement à lui-même et soit dispersé, c'est-à-dire donne l'image du spectre.

(1) *Annali. Museo Fiorentino*, vol. 1, série seconde, 1860.

Janssen (1) a utilisé cette disposition dans la construction d'un télescope portatif à vision directe formant une petite lunette. Le système de prismes qui est placé dans l'axe de l'appareil est représenté Fig. 16. Il se compose de cinq prismes ; deux en flint d'un angle de 90° ,

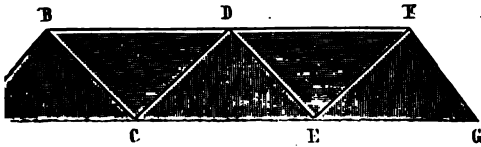


Fig. 16.

BCD, DEF, et 3 en crown ABC, CDE, EFG. D'après la forme du système, le prisme en crown CDE compris entre les deux flints a un angle de 90° en D et les deux an-

gles en C et en E sont de 45° . Ainsi les trois prismes centraux ont les mêmes angles. Les deux crowns extrêmes ABC, EFG ont en A et en G des angles de 54° ; en B et en F des angles de 81° ; et en C et en E des angles de 45° . Les angles des prismes extrêmes doivent être un peu corrigés suivant l'indice de réfraction du crown employé, et l'on arrive à observer que la transmission du faisceau lumineux se fait au travers du système en même temps que sa dispersion sans aucune déviation de la partie centrale. L'emploi de deux prismes de flint au lieu d'un seul augmente la dispersion du faisceau, sans diminuer beaucoup l'intensité lumineuse à cause des faibles pertes dues aux réflexions inutiles : aussi cet appareil est-il employé avec avantage pour être placé dans l'oculaire des lunettes à l'aide desquelles on observe les étoiles lumineuses des astres.

M. Secchi (2), dans ses recherches sur la composition de la lumière des astres, dont il a été question plus haut, page 136, s'est servi d'un prisme de ce genre à vision directe. La dispersion était telle que la distance angulaire des deux lignes B et C était de $20'$, et que celle de B et C était de $6^\circ 51'$; ainsi l'étendue visible du spectre occupait environ $1/3$, c'est-à-dire que le pouvoir dispersif de ce système était presque égal à celui d'un prisme de flint ordinaire d'un angle de 60° .

Herschell a proposé la disposition suivante (3) pour réfracter un faisceau de rayons lumineux sans le dévier, à l'aide d'un ou deux prismes

Comptes rendus de l'Acad. des sciences, t. 55, p. 576.

ibid., t. 63, pages 364 et 621.

Journal des Mondes, t. 7, p. 132, janvier 1865.

formés d'une seule substance. Soit ABC, fig. 17, un prisme à angle droit en B, tel que le plus petit angle A donne $\sin. 2 A = 1 - \frac{1}{n^2}$, n étant

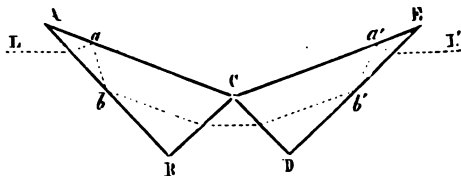


Fig. 17.

l'indice de réfraction moyen ou correspondant au jaune; pour le flint ordinaire A est à peu près égal à 20° . Un faisceau émané d'une source L tombant sur la face AB sous un angle de 45° se réfracte

puis se réfléchit totalement en a et en b, et ressort parallèlement à la direction incidente; il est donc dispersé sans être dévié.

Si deux prismes semblables ABC, EDC, sont placés de manière à faire près du plus grand angle aigu C un angle de 90° , alors un rayon incident sur une face, sous un angle de 45° , se réfracte et se réfléchit totalement deux fois dans chaque prisme, ou quatre fois en totalité en $ab b' a'$ et ressort dans la même direction que l'incidence en L'.

Cette disposition est très-ingénieuse, mais ne donne pas une dispersion aussi grande que la réunion des prismes indiquée plus haut.

§ 2. Analyse par réfraction de la lumière des flammes. Raies brillantes -

Si la combustion lente dans quelques circonstances particulières donne lieu à une émission lumineuse assez faible, on peut dire que toute combustion vive produit un dégagement considérable de chaleur de lumière. La production de la lumière dans ce cas est une conséquence de l'élévation de la température et est due à l'incandescence des particules des corps; aussi, suivant l'élévation de température, nature des composés formés ainsi que celle des éléments qui se trouvent en présence, l'intensité lumineuse est différente.

On ne peut estimer à priori la température à laquelle s'élèvent les composés dans des réactions aussi vives que les combustions; on peut bien évaluer les quantités de chaleur produites, mais, ne connaissant pas les changements des capacités calorifiques des corps à mesure que la température est plus élevée ainsi que les effets résultant de la dilatation et des changements moléculaires qui peuvent se manifester, on peut arriver qu'à des évaluations incertaines si l'on veut déduire

onnées la température observée lors de ces réactions : c'est à l'expérience seule à décider. On a vu dans le livre III, page 121, comment on pouvait estimer approximativement ces températures.

Quand les composés formés dans la combustion sont solides et opaques, à égalité de température, la quantité de lumière est la plus grande possible. Quand les composés sont gazeux, alors l'intensité lumineuse peut être beaucoup plus faible : les exemples qui ont été donnés dans le livre précédent suffisent pour établir cette proposition. Mais si les corps solides, liquides ou gazeux portés à l'incandescence émettent une lumière qui est d'autant plus vive que la température est plus élevée, avec les solides et les liquides il n'y a en général de différence que dans l'intensité lumineuse, et si l'on étudie la composition des rayons réfractés, elle indique un spectre continu sans solutions de continuité ; avec les gaz incandescents, c'est-à-dire avec les flammes, il n'en est plus de même, et la composition lumineuse dépend de la nature des composés qui constituent la flamme. Alors l'analyse prismatique indique des solutions de continuité et des intervalles ou des raies brillantes.

On a vu précédemment quels avaient été les travaux relatifs aux raies ou lignes noires du spectre solaire, et qui avaient paru depuis les recherches de Wollaston et de Fraunhofer. Ce dernier avait remarqué que la lumière des lampes donnait des lignes lumineuses très-déliées, pareilles en grosseur et en distance aux deux lignes noires D du spectre lumineux solaire ; il observa aussi que la lumière électrique obtenue comme on l'indiquera dans le livre suivant présentait des lignes brillantes au lieu de raies noires.

M. J. Herschell en 1822 (1) décrivit les spectres des flammes colorées par les sels de chaux, de strontiane et de cuivre, et indiqua entre autres une raie brillante orangée donnée par le chlorure de strontium. A la même époque, M. Brewster, s'occupant de ce sujet, montra que la flamme de l'alcool salé est d'un beau jaune pur et que les rayons rouges émis par les sels de potasse quand ils se trouvent dans une flamme sont caractéristiques pour ces sels. M. Talbot (2) en 1826 décrivit les lignes brillantes qui existent dans différentes flammes, et émit l'opinion que le spectre prismatique d'une flamme pouvait montrer si elle contenait certaines sub-

(1) *Transactions philosoph. d'Édimbourg*, t. 9, p. 433, 1822.

(2) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 62, p. 18. — Herschell, *Traité d'optique*, traduction de M. Quetelet, t. 1, page 316, et t. 2, page 454.

tensité, mais sans qu'elles puissent égaler les plus brillantes. Il faut donc se tenir dans des limites d'un examen rapide et facile.

Ils ont confirmé l'observation de M. Swan (1) sur les quantités très-minimes de chlorure de sodium qui suffisent pour donner naissance à la raie caractéristique de ce métal. Ainsi en faisant détonner 3 milligr. de chlorate de soude mélangé de sucre de lait, dans une pièce de 60 mètres cubes où l'on observait le spectre avec une lampe à gaz qui ne donnait aucune raie, après quelques minutes ils virent apparaître la raie caractéristique du sodium, et cette raie ne s'effaçait qu'après 10 minutes. En considérant qu'il faut une seconde pour observer commodément la réaction, et que pendant ce temps la flamme emploie environ 50 cent. cubes de gaz, lequel ne contenait que 1 vingt-millionième de milligr. de sel de soude, on peut calculer que l'œil perçoit distinctement la présence de 1 trois millionième de milligr. de sel de soude.

La sensibilité excessive de cette réaction explique pourquoi tous les corps qui ont subi l'accès de l'air pendant un certain temps donnent naissance à la raie du sodium lorsqu'on les introduit dans la flamme de l'appareil, et pourquoi l'on ne parvient que pour un très-petit nombre de substances à faire disparaître entièrement cette réaction, même après un grand nombre de cristallisations dans des vases en platine.

MM. Kirchhoff et Bunsen dès le début de leurs recherches ont pu voir réaliser leur prévision que la méthode basée sur l'analyse optique pourrait reculer de beaucoup les limites de l'analyse chimique ordinaires ; ils ont en effet découvert qu'en outre du potassium, du sodium et du lithium, il existait deux autres métaux alcalins, bien que ces nouveaux éléments donnent lieu aux mêmes précipités que les sels du potassium et qu'on ne les rencontre qu'en très-petite quantité dans des eaux mères de certaines salines. Ces deux métaux ont reçu les noms de cæsium et de rubidium, d'après les couleurs bleue et rouge que ces métaux donnent aux lignes brillantes caractéristiques de leur image prismatique.

Bientôt après, en suivant cette méthode, M. W. Crookes (2) découvrit l'existence d'un nouveau corps simple, le thallium, que M. Lamy (3) a montré être un métal dont il a décrit les propriétés et les différentes

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 57, p. 363.

(2) *Chemical news*, mars et mai 1861.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. 54 et 55. — *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 67, p. 385 et 418.

combinaisons. En outre, MM. Reech et Ritter ont découvert (1), en 1863, l'existence d'un autre métal, l'indium.

Bien des recherches ont été faites sur l'analyse spectrale; mon but n'est pas de les décrire, mais de parler seulement des résultats généraux les plus importants qui ont été obtenus.

Si l'on fait dissoudre dans de l'alcool quelques chlorures très-volatils tels que les chlorures de lithium, de strontium, de sodium, d'antimoine, de cuivre, et que l'on forme avec ces liquides des petites lampes comme les lampes à alcool ordinaires, les flammes qu'elles produisent ont une coloration dépendant de la nature du chlorure qu'elles renferment. Les chlorures de lithium et de strontium donnent des flammes rouges; le chlorure de sodium, une flamme jaune monochromatique qui est d'un usage fréquent dans les expériences d'optique; le chlorure de cuivre, une flamme verte et celui d'antimoine une flamme d'une couleur blanche-verdâtre de teinte livide. Ces flammes offrent les raies lumineuses caractéristiques des différents métaux qu'elles renferment, et peuvent servir à l'étude spectroscopique des substances qui se dissolvent dans l'alcool et se volatilisent dans la flamme des lampes.

Ce mode d'expérimentation n'est applicable qu'à un petit nombre de substances; pour les matières moins volatiles, on se sert de fils de platine que l'on plonge dans une dissolution aqueuse du sel à essayer, et il suffit d'une très-petite quantité de sel portée dans la flamme non éclairante d'un bec de gaz et comme l'indique la fig. 14, page 150, pour produire les effets que l'on va décrire. Quelquefois l'on se borne à brûler une allumette que l'on a plongée dans la dissolution d'essai.

La planche fig. 18 jointe à ce volume donne l'indication de la position des principales raies obtenues dans la volatilisation des chlorures des métaux alcalins et terreux au moyen de la flamme d'un bec de gaz ainsi que leur couleur.

En haut de la planche se trouve le micromètre dont les traits servent à indiquer les distances des différentes figures entre elles. La première représente le spectre solaire lumineux avec ses principales raies.

Ensuite viennent les figures des images prismatiques données par le césium et le rubidium. Le césium donne 2 raies bleues α , ϵ , puis d'autres raies vertes et jaunes, parmi lesquelles on distingue 2 raies orangées γ . Le rubidium donne en outre de deux raies orangées, placées

(1) *Journal für praktische Chemie*, 1863. — Frézienius, *Traité d'analyse chimique*, 1866.

comme les précédentes, deux raies rouges caractéristiques de ce métal et un peu moins réfrangibles que la raie A.

Les figures des spectres du potassium Ka, du sodium Na et du lithium Li sont placées à la suite. Le potassium présente une lumière sans raies caractéristiques dans le vert et le bleu, mais il donne une raie violette et une raie rouge α correspondante à A. Le sodium présente la raie jaune bien connue α correspondante à D, et qui se dédouble comme celle-ci quand la dispersion du prisme est suffisante. Le lithium n'offre qu'une raie rouge-orangée α et une raie jaune β , bien plus faible et plus difficile à distinguer.

Les trois figures qui suivent sont relatives au strontium Sr, au calcium Ca et au barium Ba; elles renferment des raies plus nombreuses que les images prismatiques précédentes. Le strontium donne une raie bleue δ bien tranchée, deux raies orangées et une raie jaune α ; du reste, au-dessous de la figure du micromètre, on a indiqué les positions des différentes raies du strontium, ainsi que par l'épaisseur des traits noirs leur intensité approximative. Le calcium offre une large raie jaune-orangée et une large raie verte parmi d'autres lignes jaunes et vertes. Le barium présente plusieurs raies vertes et des raies jaunes. L'image prismatique du thallium Tl donne une raie verte unique α ne correspondant à aucune raie noire du spectre solaire. L'image spectrale de l'indium In, représentée en dernier lieu, est formée de deux raies bleues α et β , la première étant la plus forte.

Le spectre du magnésium, non figuré ici, a plusieurs raies brillantes dont une correspond à la raie triple b du spectre solaire. Quant aux métaux tels que le fer, le cuivre, etc., ils donnent des raies lumineuses tellement nombreuses que leurs figures spectrales sont fort compliquées.

Ces figures supposent que les chlorures des métaux sont volatilisés isolément; quand plusieurs d'entre eux existent simultanément dans une flamme, on voit apparaître ensemble les systèmes appartenant aux divers chlorures, mais les figures spectrales des éléments les plus volatils se distinguent les premières.

Dans les images prismatiques dont on vient de parler, les lignes sont indiquées comme particulières à l'incandescence de la vapeur du métal alcalin, mais cela suppose que le chlorure soit décomposé ou bien que dans la volatilisation du sel le composé basique donne seul son caractère à la composition du spectre lumineux. Cela est vrai dans la plupart des cas; ainsi, par exemple, la flamme de l'alcool salé donne la même

1

raie double jaune D que celle que l'on observe avec la vapeur de sodium; mais plusieurs circonstances viennent modifier les résultats observés avec différents sels, et font que suivant les conditions de l'expérience d'autres raies peuvent apparaître.

D'abord la température a une très-grande influence, et en général plus elle est élevée, non-seulement plus l'intensité lumineuse de chaque raie est grande, mais aussi plus sont nombreuses les raies que l'on peut apercevoir. On a vu plus haut que MM. Kirchhoff et Bunsen avaient même montré que, par un effet d'optique, la visibilité des raies faibles, dont l'épaisseur était plus ou moins grande, croissait plus vite que celle des raies brillantes. Aussi voit-on apparaître de nouvelles raies brillantes, quand on emploie la décharge électrique pour volatiliser les métaux et observer l'image réfractée qu'elle présente, la température étant plus élevée que dans les flammes ordinaires; le sodium peut alors à une plus haute température donner d'autres raies que la raie double jaune qui a la réfrangibilité de D (1); le thallium peut également donner d'autres lignes que la ligne verte (2), et l'on verra dans le livre suivant, où l'on étudiera particulièrement les effets provenant du passage des décharges électriques dans les gaz, qu'il est possible que l'incandescence du même gaz raréfié puisse donner des apparences diverses suivant l'intensité des décharges transmises entre les électrodes.

D'un autre côté, les recherches de M. A. Mitscherlich (3) ont montré que les combinaisons d'un même métal, comme les sulfates, chlorures, oxydes, ne donnent pas toujours un spectre, et que quand elles en donnent les raies ne sont pas toujours les mêmes, car ces spectres peuvent être dus, ou au métal lui-même si une portion du sel est décomposée dans la flamme, ou en partie à la combinaison si elle est volatilisée sans être décomposée. D'après cela, on ne saurait conclure l'absence d'un métal de l'absence d'une raie caractéristique de ce métal, car ce dernier pourrait faire partie d'une combinaison qui ne présente pas cette raie. Cependant, avec des sels très-facilement décomposables, comme les chlorures, la plupart des lignes appartiennent à la vapeur du métal lui-même, comme MM. Kirchhoff et Bunsen l'ont prouvé.

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 55, p. 334.

(2) Miller, *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 69, p. 507.

(3) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 69, p. 169 (1863). — *Id.*, 4^e série, t. 2, p. 497.

Ces recherches ont été confirmées par celles de M. Diacon (1). Elles montrent que tout en attachant une très-grande importance à l'analyse spectrale on ne peut en tirer des conclusions certaines, quant à l'existence des matières que l'on recherche, qu'en variant les conditions expérimentales pour connaître l'influence de la nature des éléments présents sur la composition de l'image prismatique.

§ 3. Causes des raies du spectre solaire.

M. Kirchhoff (2) a montré que si l'on admettait pour toute espèce de rayons le principe de l'égalité entre le pouvoir émissif et le pouvoir absorbant d'un corps à la même température, il était facile d'expliquer pour quel motif une flamme donnait des raies brillantes quand elle agissait comme source de lumière, et des raies obscurcies par rapport aux parties voisines quand, agissant comme écran, elle était placée devant une source de lumière d'une intensité plus grande. Dans le premier cas en effet, les raies brillantes, sont dues au plus grand pouvoir émissif de la flamme pour les rayons d'une réfrangibilité déterminée. Dans le second cas la flamme, servant d'écran, en vertu de son pouvoir absorbant plus grand pour les rayons de même réfrangibilité que ceux qui sont émis en plus grande abondance, agit par absorption sur ces rayons émis par la source lumineuse placée derrière; et comme de chaque côté les autres rayons émis par les deux sources lumineuses n'éprouvent pas de changements notables, l'intensité lumineuse de ces parties reste à peu près la même, tandis qu'il y a diminution dans les régions où l'absorption a lieu, et il en résulte par contraste des raies obscures à la place des premières raies brillantes.

Ce principe était déjà admis pour la chaleur rayonnante; il l'a prouvé pour la lumière en montrant que la flamme de l'alcool salé, qui donne une raie brillante quand on analyse la lumière de cette flamme, donne une raie obscure quand on place derrière la flamme une flamme plus vive, comme celle du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène. Il y a alors renversement de la raie, puisqu'à la même place où l'on voyait une raie brillante on voit une raie obscure; c'est donc par un effet de contraste que le second effet se produit. De même, si dans la flamme non éclairante

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 4^e série, t. 6, p. 6 (1865).

(2) *Mém. de l'Acad. de Berlin*, 1859, p. 662; *id.*, 1861. — *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 58, p. 254; *id.*, 3^e série, t. 68, p. 5.

d'un bec de gaz on introduit du chlorure de lithium, le spectre de cette flamme présente la raie rouge indiquée précédemment qui correspond à peu près au milieu de l'espace de B à C; mais si l'on fait traverser la flamme par des rayons solaires, on voit apparaître une raie obscure nouvelle dans le spectre solaire, laquelle occupe exactement la position de la raie brillante dont il s'agit.

M. Kirchhoff put alors expliquer la cause de la coïncidence des raies brillantes de certaines flammes avec les raies noires du spectre solaire. C'est que, dit-il, dans l'atmosphère solaire les substances métalliques, les matières volatilisées se trouvent en incandescence, et ces masses gazeuses forment des écrans par rapport à des parties plus lumineuses, les mêmes effets ont lieu comme précédemment, et il y a renversement des raies que donneraient ces mêmes matières agissant comme sources lumineuses; on a donc des raies obscures au lieu de raies brillantes.

D'après cette supposition, l'expérience par laquelle M. Fizeau (1) a montré que la lumière du sodium brûlant dans l'air donne au commencement de la combustion, par l'analyse prismatique, une double raie noire qui est bientôt remplacée par une double raie jaune située à la même place, tient à ce que, lors de la plus grande ignition du sodium, la partie la plus brillante de la flamme se trouve entourée de vapeur de sodium à plus basse température, et qu'à la fin de l'expérience toute la flamme a sensiblement la même intensité lumineuse.

Le phénomène de renversement des raies n'avait été observé jusqu'ici qu'avec des flammes et les raies ou bandes d'absorption, c'est-à-dire les raies ou bandes obscures présentées par les dissolutions métalliques quand on plaçait celles-ci sur le trajet des rayons lumineux avant leur réfraction, et provenant de l'absorption de certains rayons par ces dissolutions, ne correspondaient pas en général aux raies ou lignes lumineuses données par les substances volatilisées dans une flamme. En effet, le principe de l'égalité des pouvoirs émissifs et absorbants d'un même corps pour un même groupe de rayons n'est relatif qu'à une même température; mais il peut se faire que des corps présentent pour des rayons d'une même réfrangibilité le même pouvoir absorbant à diverses températures, et alors les mêmes raies ou bandes d'absorption se produiraient entre des limites calorifiques différentes.

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 54, p. 493.

MM. J. Bahr et Bunsen (1) ont reconnu récemment qu'il en était ainsi avec les dissolutions des sels d'erbium ; ces liquides placés sur le trajet des rayons réfractés donnent un spectre offrant huit bandes obscures (deux rouges, quatre vertes et deux bleues) dont les positions coïncident exactement avec les huit lignes lumineuses que donne l'erbium incandescente placée dans la flamme non éclairante d'un bec de gaz. Ainsi l'erbium offre l'exemple d'une substance pour laquelle, par exception, le renversement des raies brillantes en raies obscures peut être effectué de la manière la plus simple, car avec les composés de cette substance les positions des bandes spectrales restent les mêmes à haute ou à basse température.

MM. Bahr et Bunsen ont reconnu en même temps que l'erbium se distingue de tous les corps actuellement connus par ses propriétés optiques : Quand on calcine cet oxyde dans la flamme d'un chalumeau à gaz il ne se fond pas, il répand une lumière verte et s'entour d'une auréole de même couleur quand la température est très-élevée et donne par irradiation un spectre à raies lumineuses. MM. Bahr et Bunsen ont remarqué encore qu'en humectant un morceau poreux d'erbium avec une solution d'acide phosphorique concentré et en calcinant de nouveau la substance on augmente le pouvoir émissif de la matière et que l'effet optique est encore plus marqué. Si l'erbium ne présente aucune trace de volatilisation, comme le supposent MM. Bahr et Bunsen, ce serait le premier exemple d'une substance non volatile donnant par irradiation un spectre lumineux discontinu, puisque nous avons vu, page 104, que les solides et les liquides incandescents présentent une image prismatique continue et sans solutions de continuité, et que les gaz seuls jusqu'ici ont donné des spectres à bandes lumineuses. Mais cette exception mérite confirmation.

M. Kirchhoff, d'après la coïncidence que M. Brewster avait observée entre les positions des raies brillantes de certaines flammes, et celle des raies noires du spectre, et en remarquant que, dans l'analyse par réfraction de la lumière solaire et de celle d'une flamme dans laquelle le fer était en ignition, il y avait également une coïncidence parfaite entre les raies brillantes de fer et des raies obscures du spectre solaire, M. Kirchhoff pensa qu'il y avait la plus grande probabilité pour que ces dernières fussent dues à la présence du fer en vapeur dans l'atmosphère solaire.

(1) *Ann. der Chemie und Pharm.*, t. 137, p. 1 (nouvelle série, t. 61). *Ann. de chimie et de physique*, 4^e série, t. 9, p. 484.

Il trouva en outre qu'il y avait coïncidence entre les raies brillantes des flammes de plusieurs métaux et plusieurs des raies du spectre, et que d'autres flammes ne paraissaient pas présenter ce résultat. D'après lui, il se trouverait dans l'atmosphère solaire du fer, du magnésium, du sodium, du potassium, du calcium, du chrome, du nickel et peut-être du cobalt, de l'aluminium, du barium, du cuivre, du manganèse et du zinc; mais l'atmosphère solaire ne renfermerait pas d'or, d'argent, de plomb, d'étain, d'antimoine, de cadmium, d'arsenic, de mercure, de lithium, de strontium, de silicium, ni de thallium.

Il est extrêmement remarquable que l'on ait pu s'élever par des observations d'analyse de lumière à la probabilité de la constitution chimique de l'atmosphère solaire; mais on a vu, d'après ce qui a été dit page 161, que l'absence de raies ne pouvait pas indiquer qu'une matière n'existât pas à l'état d'incandescence dans une flamme; d'un autre côté, il peut se faire qu'il y ait des combinaisons entre les éléments qui constituent l'atmosphère solaire, et si tous les éléments ne sont pas séparés, il pourrait y avoir des raies correspondantes à ces combinaisons, et non pas aux bases métalliques elles-mêmes. Mais la température est si élevée que peut-être les éléments sont tous désunis.

Des considérations du même ordre permettraient de rendre compte des raies observées dans la lumière des astres, et dont il a été question page 134, et la diversité des matières qui se trouvent dans leurs atmosphères expliquerait pour quel motif les raies ne sont pas toutes les mêmes que les raies solaires.

Un certain nombre des raies noires du spectre solaire sont dues à la présence de l'air atmosphérique, car on a vu au commencement de ce livre, page 133, que l'atmosphère terrestre peut agir par absorption pour donner des solutions de continuité aux images prismatiques. On a désigné ces bandes et ces raies sous le nom de raies atmosphériques ou telluriques, et l'on a réservé le nom de raies solaires à celles que l'on observe en analysant le spectre solaire, et qui dépendent de la constitution même de cet astre.

Je dois faire remarquer, en terminant ce livre, que d'autres causes que les absorptions exercées par les masses gazeuses peuvent produire des raies noires analogues aux raies du spectre solaire. On verra en effet livre VI (1) que dans l'analyse par réfraction des rayons émis par les

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 57, p. 54. *Leçons faites à la Société chim.*, 1861, p. 193.

corps phosphorescents on observe avec les corps solides, à la température ordinaire, des effets de ce genre. Sans vouloir prétendre que des conditions analogues puissent se présenter dans des sources d'origine météorique où l'incandescence est d'ailleurs manifeste, quand on voit des causes si diverses et des actions exercées à des températures si différentes donner lieu au phénomène dont il s'agit ici, on ne doit pas se hâter de déduire des conclusions trop absolues des recherches, d'ailleurs fort importantes, faites sur l'analyse spectrale.

LIVRE V.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR L'ÉLECTRICITÉ.

CHAPITRE PREMIER.

Étincelles électriques.

§ 1. Lueurs et étincelles. — Influence de la nature des gaz et des conducteurs.

Toutes les fois que les électricités accumulées sur des corps à distance ont une tension suffisante, elles traversent le milieu qui les sépare, et cette réunion a lieu avec accompagnement de lumière, c'est-à-dire sous forme d'étincelles; si la quantité d'électricité qui passe se renouvelle continuellement, il peut en résulter un arc comme celui que l'on obtient avec une pile voltaïque. L'intensité et la composition de la lumière qui se produit dépend non-seulement de la quantité d'électricité qui passe, ainsi que de la forme et de la nature des conducteurs que l'on appelle des électrodes, et entre lesquels les décharges ont lieu, mais encore de la nature, de la température, et de la force élastique des milieux qui environnent ces mêmes conducteurs.

Les recherches qui ont été faites sur l'électricité ont montré que sa transmission dans les corps ne pouvait avoir lieu sans la présence de particules matérielles; ainsi, d'après ce principe, dans le vide parfait, la propagation de l'électricité n'aurait pas lieu; mais, distinction importante à établir, les influences magnétiques comme les actions électro-dynamiques des courants pourraient s'exercer. On assimile ainsi le passage de l'électricité dans les gaz à celui de cet agent dans les métaux et dans les liquides. L'expérience du reste a prononcé (1), et j'ai

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 39, p. 355, 1853.

prouvé que dans des circonstances données de température et de pression on pourrait considérer les courants électriques, même à faible tension, comme traversant les gaz ainsi qu'ils traversent les liquides et les solides conducteurs. D'un autre côté, quand on raréfie l'air au plus haut point où on puisse le faire et comme Davy l'a montré, la transmission de l'électricité devient de plus en plus difficile, de façon à faire penser que l'électricité ne se propagerait pas dans le vide parfait (1).

On a démontré que toutes les fois que l'électricité passe dans un corps il y a élévation de température, et si cette élévation de température est suffisante il y a incandescence. Tel est l'effet qui se produit quand l'électricité traverse un fil de platine; si la quantité d'électricité est suffisante, ce fil est porté au rouge et peut arriver jusqu'à la fusion. Dans les gaz, il en est de même; le passage de l'électricité rend incandescentes les particules qui servent à transmettre l'électricité, et l'incandescence est cause de la lumière observée. Cet effet, comme on va voir, peut résulter, soit de l'incandescence du milieu ambiant, de l'air généralement, soit des particules volatilisées provenant des conducteurs et pouvant servir à transmettre l'électricité.

La lumière électrique apparaît dans l'air aussitôt que l'électricité a une tension suffisante pour se porter sur les corps voisins; ainsi l'ambre, la gomme laque, le verre, certaines pierres précieuses étant frottés, quand ils sont dans l'obscurité et qu'on en approche la main, présentent des petites étincelles dues à l'électricité qui traverse l'air.

On observe un dégagement de lumière lors du frottement du mercure contre le verre dans l'intérieur d'un tube barométrique. Ce fait a été découvert par Picard, en 1676 (2). On n'en reconnut pas d'abord la cause, mais Hawksbee prouva qu'il rentrait dans les effets ordinaires de frottement. On trouve dans les cabinets de physique un petit appareil qui montre le phénomène avec simplicité: il se compose d'une petite roue en verre (fig. 19), formée par un tube recourbé et renflé de distance en distance. Ce tube, avant d'être fermé, fait partie

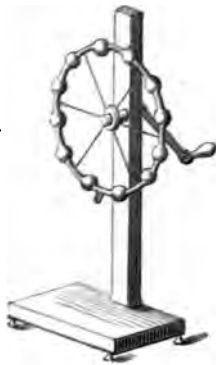


Fig. 19.

(1) Voir les expériences de M. Gassiot, celles de M. Delarive, *Comptes rendus de l'Acad.*, t. 56, p. 689; ainsi que celle de MM. Plucker et Hittorf, *Philos. transact.*, t. 55.

(2) *Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, t. 2, p. 125.

tube barométrique, et quand on soude au chalumeau la portion de la tige auquel il tient, on a soin d'y laisser une petite quantité de mercure. Une fois ce tube circulaire fermé, il est donc vide d'air, et contient un peu de mercure. On adapte ce tube à un axe muni d'une roue dentée, et ce système forme une petite roue que l'on met en mouvement avec la main. Si on la fait tourner ainsi dans l'obscurité, on voit se produire dans l'intérieur du tube, et même il éclate des étincelles là où le frottement est le plus grand.

Les étincelles qui se voient autour des conducteurs et du verre d'une machine électrique ordinaire ont la même origine; il en est également de même des apparences lumineuses qui se produisent quelquefois en l'air pendant l'orage à l'extrémité des corps conducteurs, comme à la pointe d'un tonnerre (1).

Quand on approche la main d'un des conducteurs d'une machine électrique, si la distance est un peu grande on aperçoit des traînées lumineuses allant en s'épanouissant et qui forment ce que l'on nomme des aigres; ce sont des petites étincelles excitées entre les particules de l'air. Mais si la distance entre le corps conducteur et la machine électrique est moindre, alors apparaît l'étincelle ou cette ligne de feu blanche, qui est l'image de la foudre.

L'intensité de l'étincelle est plus ou moins vive suivant les circonstances; entre deux conducteurs métalliques dont l'un touche à une machine électrique, l'étincelle a moins d'éclat que si l'on se sert d'une jarre électrique ou d'un condensateur; dans ce dernier cas, l'étincelle est plus courte, mais beaucoup plus brillante. Cette étincelle est due à l'incandescence temporaire des particules matérielles qui transmettent l'électricité; c'est ainsi dire une file de particules incandescentes, et il se produit de la chaleur et du gaz, comme on l'a déjà dit, le même effet que dans des fils métalliques parcourus par l'électricité.

Il est facile de démontrer l'influence des milieux ambiants et de leur nature sur la nature et l'intensité des étincelles. On peut d'abord citer l'expérience curieuse de Davy (2): un tube A B C, fig. 20, auquel est fixé un robinet permet de raréfier l'air à l'intérieur. Il est traversé par une tige de platine *m* soudée dans le tube. Du mercure, au commencement de l'expérience, remplit la partie A B. En ra-

Becquerel, *Traité d'électricité* en 7 vol., t. 1. — Becquerel et Ed. Becquerel, *Traité d'électricité*, t. 1^{er}, p. 412.

Ann. de chimie et de physique, 2^e série, t. 20, p. 168, 1821.

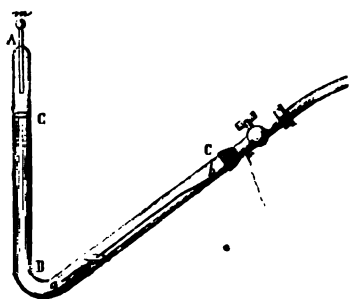


Fig. 20.

réflant l'air du tube, on force la colonne mercurielle A B à descendre, et entre le mercure et la tige de platine *m* il se forme le vide barométrique. On comprend dès lors qu'en faisant communiquer *m* avec un corps électrisé ou avec le bouton d'une bouteille de Leyde, si un fil de platine *b a*, attaché au robinet, plonge en *a* dans le mercure et fait communiquer celui-ci avec le sol, on pourra faire

passer l'électricité au travers de l'espace vide.

Cet appareil peut se placer dans un vase rempli d'alliage fusible qui élève sa température, ou bien être plongé dans un mélange réfrigérant. Lorsqu'on élève la température du mercure dans le vide barométrique, la lumière se montre d'une couleur verte; en chauffant graduellement jusqu'à l'ébullition du mercure, la décharge d'une batterie de quelques bocaux y produit une lumière très-éclatante, tandis qu'en refroidissant le mercure on l'affaiblit peu à peu, et tellement, qu'à 20 degrés au-dessous de zéro la lumière est si faible qu'elle n'est visible que dans une obscurité très-profonde.

En introduisant dans le vide mercuriel la plus petite quantité d'air, la couleur ordinaire change du vert au vert de mer; par de nouvelles additions, elle passe au bleu et au pourpre. En remplaçant le mercure par de l'alliage fusible afin de ne pas avoir sensiblement de matière pondérable dans le vide, la lumière est pâle, et d'un jaune paille. Lorsque le vide est fait sur l'huile d'olive et le chlorure d'antimoine, la lumière dans le dernier cas est plus marquée qu'avec l'huile. On voit par là que l'intensité lumineuse dépend de la quantité de matière pondérable à travers laquelle les décharges sont transmises.

Si l'on fait éclater des étincelles dans différents gaz à la même pression, les effets que l'on observe montrent que ces gaz exercent une influence sur l'effet produit. Dans l'air, à la pression ordinaire, les étincelles ont une lumière intense et une couleur bleue bien connue; on aperçoit souvent des parties claires ou obscures dans le trajet, quand la quantité d'électricité est peu considérable. Dans l'azote, les étincelles sont belles, et ont la même apparence que dans l'air, mais leur couleur est franchement bleue ou pourpre, et elles sont accompagnées d'un son très-

remarquable. Dans l'oxygène, elles sont plus blanches que dans l'air ou que dans l'azote, mais aussi brillantes. Dans l'hydrogène, elles ont une belle couleur cramoisie, qui n'est pas due à sa faible densité ; en outre, leur intensité est faible, ce qui est une conséquence des propriétés physiques de ce gaz. Dans le gaz acide carbonique, la couleur est comme dans l'air, mais avec une teinte verte, et les étincelles sont plus irrégulières. Dans le gaz chlorhydrique sec, l'étincelle est presque toujours blanche sans teinte obscure. Dans le gaz oxyde de carbone, elle est quelquefois verte, quelquefois rouge, et tantôt l'un, tantôt l'autre ; quelquefois on aperçoit des parcs noirs dans la ligne de l'étincelle.

Il est facile de montrer, par une expérience très-simple, l'influence des gaz sur la lumière de l'étincelle électrique : on prépare plusieurs tubes, de façon à pouvoir y introduire des gaz différents, et à faire éclater des étincelles dans ces gaz à l'aide de fils de platine soudés aux deux extrémités des parois. On place plusieurs de ces tubes à côté l'un de l'autre en A, A', A'', fig. 21, de manière que le fil de platine *b* du premier

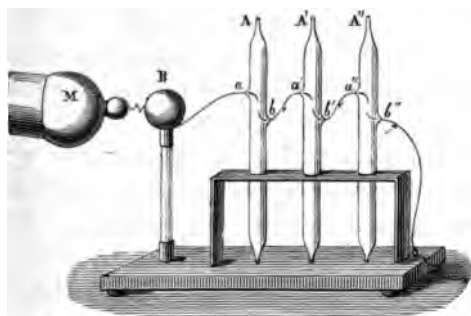


Fig. 21.

toucher le fil *a'* du second, que *b'* du second touche *a''* du troisième, etc. On fait communiquer le fil *a* avec une boule en cuivre isolée B, et le fil *b''* avec le sol ; si alors on fait éclater une série d'étincelles entre la boule B et le conducteur d'une machine électrique M, quand la distance entre

et M est suffisante, à chaque décharge il éclatera simultanément une étincelle dans chaque tube A, A', A''. De plus, ces étincelles seront données par la même quantité d'électricité et auront la même intensité, si les fils de platine sont semblablement placés dans les tubes. Il est nécessaire, dans ces expériences, de faire éclater la décharge entre la boule B et le conducteur d'une machine, sans cela les étincelles ne seraient pas en approchant simplement les fils de platine des conducteurs.

Si les tubes A, A', A'' sont pleins d'air, les étincelles ont le même éclat ; si le premier est rempli d'hydrogène, le deuxième de chlore, le

troisième d'oxygène, on observe les effets qui ont été indiqués précédemment, c'est-à-dire que dans l'hydrogène la lumière de l'étincelle est rouge pourpre, dans le chlore verdâtre, dans l'oxygène pure blanche. Les autres gaz donneraient des teintes différentes, comme on l'a dit plus haut. Ainsi la lumière devient blanche et brillante dans un gaz dont la densité est grande, tandis qu'elle s'affaiblit ou prend une teinte rougeâtre dans un milieu dont la densité est plus faible.

Les corps entre lesquels la décharge éclate ont également une influence très-grande sur l'étincelle. On remarque en général que la lumière électrique est d'autant plus brillante que les corps entre lesquels elle se produit conduisent mieux l'électricité; avec les corps mauvais conducteurs elle s'affaiblit et prend une teinte violacée-rouge. Ces effets dépendent des particules volatilisées provenant des conducteurs et qui sont portées à l'incandescence. Fusinieri (1) a observé en effet que toutes les fois que l'étincelle éclate entre des conducteurs métalliques on retrouve après la décharge des traces des métaux sur les surfaces des conducteurs, et là où s'est produite la décharge; ainsi, entre une sphère d'argent et une sphère d'or on voit dans les points où la décharge a éclaté sur l'or des traces d'argent et sur l'argent des traces d'or; il y a donc par le fait de la décharge transport de particules matérielles dans les deux sens.

Ces effets, qui s'observent dans toutes les circonstances où il y a des décharges électriques entre des conducteurs métalliques, se manifestent avec plus ou moins d'intensité suivant les conditions dans lesquelles ces décharges ont lieu, ainsi que suivant la pression et la température du gaz environnant. Dans les gaz raréfiés, comme on le verra plus loin, les particules matérielles provenant des conducteurs sont proportionnellement en moindre quantité, et la lueur électrique est due en grande partie à l'incandescence du milieu gazeux raréfié; dans les gaz à la pression ordinaire, ce sont les parcelles métalliques volatilisées et provenant des conducteurs qui donnent presque tout l'éclat brillant à la lumière de l'étincelle, comme le prouve l'analyse de la lumière électrique dont on donnera plus loin les résultats.

(1) *Journal de Pavie*, 1825, p. 405. — Becquerel, *Traité d'électr.*, en 7 vol., t. 3, p. 156.

§ 2. *Photomètre fondé sur l'emploi de l'étincelle électrique.*

Nous venons de voir précédemment que la même quantité d'électricité pouvait donner lieu à des effets différents, suivant la nature des milieux et des conducteurs; mais il était important de pouvoir mesurer l'intensité des étincelles afin de comparer leur puissance lumineuse dans ces diverses circonstances. M. Masson (1) a atteint ce but en faisant usage d'un photomètre électrique dont la construction repose sur le principe suivant :

Un disque de papier sur lequel on a tracé des secteurs noirs et blancs d'égale dimension, se mouvant avec une rapidité suffisante, paraît d'une teinte uniforme et grisâtre si on l'éclaire avec une lumière blanche permanente. Ce phénomène bien connu est dû à la persistance de la sensation lumineuse sur la rétine. Lorsqu'au lieu d'une lumière fixe, on emploie une lumière instantanée pour éclairer les secteurs, on aperçoit le disque comme s'il était fixe, les secteurs n'ayant pu se déplacer sensiblement pendant la durée de la lumière. L'œil apercevant dans ce cas, et avec une grande netteté, tous les détails du disque, l'on peut apprécier quelle est son extrême sensibilité ainsi que la rapidité avec laquelle s'exerce la perception des objets et se forme notre jugement sur leur nature.

Si le disque éclairé par une lumière permanente est subitement illuminé par une lumière instantanée, une étincelle électrique par exemple, on verra, pour une intensité convenable de cette dernière, apparaître les secteurs. Si l'on affaiblit successivement la lumière instantanée, il arrivera un instant où les secteurs disparaîtront et où le disque paraîtra éclairé d'une teinte uniforme. Dans ce cas, la lumière instantanée est une fraction de la lumière permanente, variable avec l'œil de l'opérateur mais invariable pour un même œil, les circonstances de vision restant les mêmes. En effet, à cause de la persistance de la sensation sur la rétine, la place qu'occupe un secteur noir ne réfléchissant pas la lumière de l'étincelle a conservé l'éclairement primitif du fond; celle qu'occupe un secteur blanc renvoie à l'œil autant de lumière que la première, plus la lumière due à l'étincelle. Quand l'intensité de cette dernière représentera la limite de sensibilité de l'œil de l'observateur, le disque paraîtra uniformément éclairé. Le rapport entre les intensités des éclairissements

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 14, p. 129; *id.*, t. 30, page 5.

des secteurs noirs et blancs au moment où l'on cesse de les distinguer peut varier de $\frac{1}{50}$ à $\frac{1}{120}$, suivant la sensibilité de l'œil de l'observateur. On a déjà cité ce résultat dans le livre III, p. 199. Quant au rapport entre l'intensité de la lumière de l'étincelle et celle de la lumière fixe, il dépend des dimensions des secteurs noirs et blancs.

Supposons maintenant que l'observateur qui étudie l'intensité des étincelles se place à une distance fixe du disque éclairé par celles-ci et par la lumière artificielle qui sert de terme de comparaison, et qu'il approche ou éloigne cette lumière artificielle jusqu'à ce qu'il soit arrivé au point où les secteurs ne soient plus distincts sur la roue en mouvement quand l'étincelle éclate, on mesurera simplement la distance de la lumière artificielle à l'écran, et cette distance servira à comparer les intensités lumineuses de l'étincelle avec celles d'autres étincelles produites entre les boules de l'excitateur placé à la même distance du disque.

M. Masson, à l'aide de cet appareil, non-seulement a montré comment l'intensité lumineuse variait avec la distance des conducteurs, les dimensions des condensateurs, etc., mais il a reconnu en outre que lorsque des décharges de batteries produisent de la lumière dans un point d'interruption d'un circuit et de la chaleur dans un fil faisant partie de ce même circuit, les quantités de chaleur sont proportionnelles aux quantités de lumière. Ce résultat est important, en ce qu'il montre la relation qui existe entre la quantité de lumière et la quantité de chaleur produite par le passage d'une même quantité d'électricité au travers des corps.

CHAPITRE II.

Lumière électrique dans les gaz raréfiés ou échauffés. — Arc voltaïque.

§ 1. Lumière dans les gaz raréfiés.

La pression des gaz ou des vapeurs au milieu desquels les étincelles éclatent a une grande influence sur les effets obtenus. Non-seule-

et la quantité d'électricité nécessaire pour produire une étincelle de longueur constante est sensiblement proportionnelle à la pression du gaz, entre certaines limites bien entendu, mais en outre, s'il y a moins d'électricité pour produire une longue étincelle dans des gaz raréfiés, la lumière électrique donne de grandes aigrettes ou même lueurs comme l'œuf électrique en offre un exemple.

Un appareil, qui sera représenté plus loin, fig. 23, se compose d'un ballon de forme ovoïde, dans lequel on peut raréfier l'air à volonté. Deux tiges terminées par des boules passent à frottement dans des boîtes d'air fixées aux deux extrémités amincies de l'appareil. En mettant ces tiges en communication avec le conducteur d'une machine et l'autre avec le sol, si le vide est fait dans le ballon et qu'on opère dans la sécurité, on voit un globe de feu de teinte bleuâtre ayant la forme d'un œuf et qui va d'une sphère conductrice à l'autre. Si on fait rentrer un peu d'air, la teinte est plus vive, mais l'espace lumineux est moins grand ; si on augmente la pression intérieure plus forte, on aperçoit des coruscations ou des aigrettes allant d'une boule à l'autre ; enfin, avec l'air à la pression ordinaire, si les boules sont suffisamment près, il se produit des étincelles.



Fig. 22.

Le tube vidé employé aussi ordinairement dans les cours de physique présente des effets analogues. On peut également se servir de l'appareil nommé double baromètre représenté ci-contre, fig. 22, et qui montre la lueur produite par suite du passage de l'électricité au travers du vide barométrique dans une partie courbe B.

En examinant au microscope les étincelles qui s'échappent entre une pointe en platine et une lame métallique oscillante d'un appareil d'induction, étincelle provenant du courant d'induction lui-même, on remarque que la pointe devient successivement lumineuse et obscure, suivant la direction imprimée au courant ; la pointe est lumineuse quand l'électricité négative débouche

par son extrémité ; quand on excite l'étincelle entre deux fils de fer très-fins, on trouve également que le fil de fer négatif seul rougit et brûle. Si l'on observe ces effets dans cette circonstance, il y a des conditions comme nous allons le voir, où le pôle positif est aussi lumineux et même davantage que le pôle négatif. En outre, le transport des matières du pôle + au pôle - est intimement lié au mouvement de l'électricité puisqu'il s'observe également lors du passage des courants électriques au travers des liquides.

Cette inégalité d'intensité lumineuse et de coloration aux deux pôles des appareils d'induction est très-curieuse, en ce qu'elle montre les différences produites suivant le sens du courant ; on peut les obtenir avec beaucoup d'intensité en opérant avec l'appareil d'induction de M. Ruhmkorff, et on peut même suivre ce passage de la succession des étincelles à l'arc voltaïque en approchant graduellement les deux conducteurs qui terminent le fil parcouru par le courant d'induction depuis quelques millimètres où les étincelles se produisent jusqu'à un millimètre ou un demi-millimètre dans l'air où leur succession est si rapide qu'elles constituent un arc ; en même temps les effets de chaleur, de fusion et de transport commencent à se manifester.

Lorsqu'on opère dans les gaz raréfiés, l'arc peut se produire, à une distance assez grande. Pour cela, on dispose sur la platine d'une machine pneumatique un œuf électrique contenant deux boules en cuivre, C, B, fig. 23, et l'on peut raréfier plus ou moins le gaz intérieur ; les deux boules métalliques sont mises en communication avec les extrémités du fil donnant le courant par induction, et par conséquent peuvent être rendues successivement positives ou négatives.

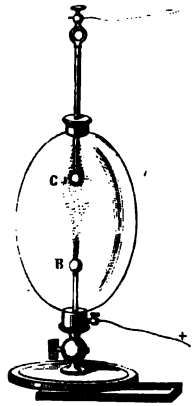


Fig. 23.

Si après avoir fait le vide à 1 ou 2 millimètres de pression on établit la communication entre les tiges et l'appareil, on voit l'arc s'établir aussitôt, même lorsque les boules sont à 2 ou 3 décimètres de distance. En outre, la boule négative C et la tige à laquelle elle est attachée sont entourées d'une auréole lumineuse bleuâtre, la boule positive B est le point de départ d'une gerbe couleur violette-rougeâtre. L'effet est d'autant plus beau et la gerbe plus large, que le vide fait avec la machine est plus parfait ; jusqu'à une certaine limite

bien entendu, car avec des tubes vides, ou du moins dans lesquels les gaz **sont** raréfiés autant que possible, l'électricité ne serait plus **trans-**
mise, comme on l'a déjà énoncé page 168, et l'on ne verrait plus aucune **trace** lumineuse. La conductibilité du gaz n'augmente donc, lors de la **diminution** de pression, que jusqu'à une certaine limite, au-delà de la **quelle** cette conductibilité décroît de façon à devenir nulle dans le vide. Si l'air rentre peu à peu dans l'appareil, l'arc devient d'un moindre **diam-**
mètre, et la boule négative n'est plus entourée d'une auréole bleuâ-
tre ; enfin, l'électricité peut cesser de passer si la pression intérieure vient **à**
augmenter. La différence dans la manière dont se manifestent les **effets**
lumineux aux deux pôles est frappante.

Lorsque, dans cette expérience, on fait varier la nature des milieux ra-
réfiés, il se produit un phénomène extrêmement remarquable : en **met-**
tant dans l'appareil de la vapeur d'essence de térébenthine, puis **en**
raréfiant le gaz avec le plus grand soin, au moment où l'on établit la **com-**
munication entre l'appareil d'induction et les conducteurs C et B, **l'int-**
ervalle qui se trouve entre les deux boules paraît lumineux, mais **il**
est séparé en strates perpendiculaires à la ligne qui joint les boules, **c'est-**
à-dire en strates horizontales d'après la disposition de l'appareil ; **ces**
strates sont d'autant plus séparées que le vide est mieux fait. Le **phé-**
nomène cesse quand il a duré pendant quelques instants ; il se re-
nouvelle en introduisant de nouveau de la vapeur d'essence. Est-ce une **pola-**
rité des particules d'essence très-raréfiées qui se manifeste ? On ne **peut**
répondre quant à présent à cette question, malgré les nom-
breuses recherches qui ont été faites, et ce point exige de nouvelles **expé-**
riences pour être éclairci (1).

Les effets lumineux produits par les décharges électriques dans les **mil-**
ieux raréfiés peuvent être observés dans des tubes de verre fermés **à**
la lampe et remplis préalablement des gaz sur lesquels on opère. Des **con-**
ducteurs, généralement en platine, soudés aux deux extrémités **pén-**
ètrent dans ces tubes et permettent à l'électricité de passer dans leur **in-**
térieur.

M. Geissler a d'abord construit des tubes de ce genre de différentes **for-**
mes, et depuis on a beaucoup varié leurs dispositions et leurs dimensions ; **les**
effets que l'on peut produire sont aussi très-différents, car en **mêm-**
emps que les gaz plus ou moins raréfiés donnent des teintes et des in-

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 4^e série, t. 8, p. 437, 1866.

tensités lumineuses diverses, et que des stratifications apparaissent ou moins larges et plus ou moins brillantes, les verres dont sont les tubes prennent des teintes bleuâtres ou verdâtres, suivant la nature, en présentant des effets de phosphorescence qui seront dans le livre suivant. Les verres d'urane surtout donnent une verte très-vive ; suivant l'habileté du souffleur de verre, on peut obtenir des effets très-variés quand ces tubes sont exposés dans l'obscurité à l'aide d'un appareil d'excitation.



Fig. 36.

Lorsque ces tubes renferment de l'air raréfié, ils donnent les belles teintes purpurines ; avec l'acide carbonique, les hydrogènes carbonés, les tons lumineux sont verdâtres ; les autres gaz donnent des teintes qui dépendent de leur nature et de l'intensité des charges. On a même proposé de se servir de tubes très-étroits, vivement illuminés à l'intérieur, pour éclairer dans certains cas spéciaux, comme par exemple pour remplacer les lampes des mines. On reviendra sur ce sujet dans le livre VI.

Le tube représenté ici, fig. 36, est composé d'une enveloppe en verre ordinaire et d'une partie intérieure formée de petites sphères en verre d'urane. Ce tube ne renferme que de l'air raréfié et des charges électriques en traversant à l'intérieur les sphères, donnent à celles-ci une lumière vive, tandis qu'elles ne produisent dans les intervalles centraux que des nuances rougeâtres et violettes. À l'extrémité négative, on aperçoit une teinte rougeâtre qui illumine l'appareil. À l'extrémité positive, on aperçoit une teinte violette qui illumine l'appareil. L'intérieur du tube présente des stratifications semblables à celles dont on a parlé plus haut.

Du reste, on indiquera plus loin différentes positions nécessaires pour l'analyse de la lumière produite par le passage de l'électricité dans les tubes et les réflectifs ainsi que pour l'observation de phénomènes particuliers qui peuvent se présenter.

§ 2. *Arc voltaïque.*

Quand on emploie des conducteurs en charbon de cornue pour conduire le courant électrique provenant d'une pile puissante, on observe au moment du contact de ces conducteurs une émission de lumière d'une vivacité extraordinaire et des effets calorifiques supérieurs à ceux que l'on peut produire par tous les autres moyens physiques, si ce n'est par les décharges électriques obtenues à l'aide des condensateurs. Davy est le premier qui ait fait cette expérience remarquable, que l'on répète facilement aujourd'hui avec une pile de 40 à 50 éléments à acide nitrique.

On peut observer le phénomène dans l'air ou dans le vide. Les appareils destinés à la production de l'arc sont représentés fig. 24 et 25.

Dans le premier appareil, fig. 24, les tiges de cuivre AB, A'B', mises en communication avec les pôles de la pile, contiennent des baguettes en charbon de cornue *a* et *b*, entrant à frottement dans des tubes en cuivre B et B'. La tige supérieure peut se mouvoir à frottement pour amener le contact entre les charbons et pour pouvoir les séparer immédiatement après.

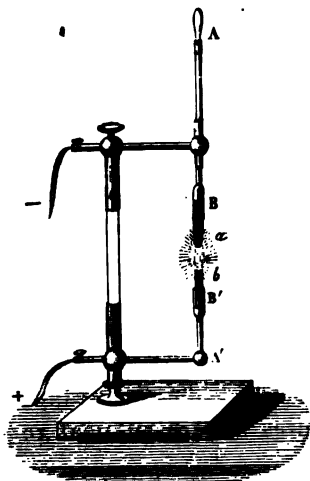


Fig. 24.

Quand les deux tiges communiquent avec les pôles de la pile, si les charbons sont à une certaine distance l'un de l'autre, le circuit n'est pas fermé et l'électricité ne passe pas; mais une fois les deux cônes de charbon en contact, il se manifeste aux points où ils se touchent une incandescence excessivement vive, et l'on peut

les éloigner graduellement l'une de l'autre jusqu'à plusieurs centimètres, suivant le nombre des éléments de la pile. Le courant continue alors à passer, et un globe de flamme auquel on a donné le nom d'arc voltaïque apparaît entre les cônes. Cet arc ne reste pas fixe et est continuellement agité; on doit le considérer comme une succession non interrompue d'étincelles, ou, si l'on veut, comme un courant électrique transmettant dans l'intervalle des deux cônes en charbon des parcelles de

carbone incandescentes. Ce qui montre bien que cet arc est dû à un courant électrique établi à l'aide de particules matérielles, c'est qu'il obéit à l'action d'un aimant, de même que les fils métalliques parcourus par l'électricité.

Quand l'expérience dure depuis quelques instants, en même temps que ce phénomène se produit il y a combustion du charbon, la distance ab augmente, et l'arc est bientôt rompu, à moins que l'on ne rapproche les tiges métalliques. Dans le vide il n'en est pas ainsi. L'appareil destiné à produire alors l'arc voltaïque est un œuf électrique fig. 25, dans les douilles duquel passent les tiges $AB, A'B'$. La tige A'

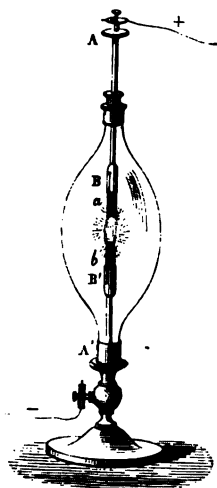


Fig. 26.

est fixe, mais AB glisse à frottement à partie supérieure de l'appareil. Quand le courant circule entre les cônes en charbon a et b , on observe le même phénomène qu'en l'air, mais l'arc est plus long, et il n'y a pas combustion du charbon. On remarque seulement que le cône en charbon communiquant avec le pôle positif se creuse, tandis que celui qui communique avec le pôle négatif augmente à son extrémité. Lorsque l'on veut entretenir constant l'arc voltaïque formé dans l'air, il faut donc avoir recours aux régulateurs photo-électriques c'est-à-dire aux appareils du genre de ceux dont on a parlé antérieurement pages 114 et 116, ou bien faire usage du régulateur qui a été imaginé par M. Foucault (1), et à l'aide duquel le rappro-

chement et l'écartement des charbons polaires s'opère automatiquement d'une manière indépendante.

La longueur de l'arc voltaïque dépend de l'intensité du courant électrique, c'est-à-dire du nombre de couples dont on fait usage. D'après les expériences faites avec une pile de 600 éléments, on a vu que cette longueur pouvait aller jusqu'à 18 centimètres; entre cette limite et celle de quelques millimètres se trouvent les longueurs d'arc fournies par les piles moins puissantes. Si au lieu d'électrodes en charbon on se sert d'électrodes métalliques, alors la longueur comme l'a

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences.* t. 61, p. 1148, 1865.

couleur de l'arc peut subir de grandes modifications, ainsi que cela résulte des observations de M. Delarive (1).

Si l'on étudie la distribution de la lumière dans l'arc voltaïque, elle se trouve inégalement répartie, et vers les pôles elle est beaucoup plus vive qu'au milieu des conducteurs; le pôle positif est le plus brillant; aussi la puissance lumineuse de cet arc est-elle due, pour la plus grande partie, à l'irradiation des pointes en charbon et non pas à la flamme qui les entoure.

En général, l'intensité lumineuse augmente peu quand on augmente le nombre des éléments de la pile, mais elle croît rapidement quand on augmente la surface des couples, ou, si l'on veut, la quantité d'électricité. Ainsi, avec la pile de 600 éléments citée plus haut, lorsque ces éléments ont été disposés bout à bout, l'intensité lumineuse a cru de 50 à 100 éléments et de 100 à 600, mais d'une manière peu considérable; au contraire, quand les éléments ont été réunis en quantité, de manière à doubler, à tripler, etc., leur surface, l'accroissement de l'énergie lumineuse a été alors fort appréciable; 200 éléments mis en deux séries parallèles de 100 éléments chacune ont éclairé à peu près deux fois plus que 100 éléments simples, et ainsi successivement jusqu'à 600 éléments disposés en six séries parallèles de 100.

On a vu dans le livre III, page 118, quelle était la quantité totale de lumière que pouvait donner l'arc voltaïque dans les conditions ordinaires, par conséquent je n'y reviendrai pas; je rappellerai seulement qu'avec une pile de 60 à 80 éléments on peut avoir une quantité de lumière équivalente à 1,000, à 1,500 bougies, et qu'en employant soit des piles, soit des machines magnéto-électriques, et en augmentant la quantité d'électricité mise en jeu, on augmenterait la quantité de lumière.

L'arc voltaïque est donc une des sources lumineuses les plus vives que nous puissions produire; elle ne le cède peut-être qu'aux décharges électriques, mais dont on n'a pas encore étudié les effets sous ce point de vue. Son éclat est moindre que celui du soleil, et l'on verra dans la deuxième partie de cet ouvrage comment on peut comparer les effets chimiques que produisent ces différentes sources de lumière.

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. 60, p. 1002.

CHAPITRE III.

Composition de la lumière électrique.

§ 1. Lueurs et Étincelles électriques.

La lumière électrique, comme la lumière solaire et les lumières artificielles, n'est pas simple, et sa composition dépend du milieu où elle se produit et de la nature des corps entre lesquels les décharges ont lieu. Wollaston, en 1802, qui a analysé le premier cette lumière, a reconnu que le spectre résultant de son passage dans un prisme, était formé de bandes colorées dont la composition n'était pas la même que celle de la lumière solaire.

Fraunhofer (1) a trouvé aussi de grandes différences avec le spectre solaire, sous le rapport des raies et des bandes. Pour observer une lumière continue avec l'électricité, il a approché à quelques centimètres de distance deux conducteurs métalliques qu'il a réunis par un fil de verre très-délié. L'un de ces conducteurs a été mis en communication avec une machine électrique et l'autre avec le sol; la lumière qui paraissait sur le fil de verre formait une ligne fine et brillante, et a pu être analysée comme la lumière solaire pénétrant par une fente étroite dans une chambre noire.

Suivant les observations de Fraunhofer, on distingue dans le spectre de la lumière électrique formée dans l'air plusieurs lignes brillantes ou parties très-claires, dont l'une, qui se trouve dans le vert, est d'une clarté pour ainsi dire brillante en comparaison du reste du spectre. L'orangé renferme une ligne moins lumineuse, dont la couleur paraît être la même que celle de la ligne claire du spectre de la flamme d'une lampe. A peu de distance de l'extrémité du spectre, on remarque une ligne d'une teinte sombre; on voit encore facilement dans diverses parties de l'image prismatique quatre lignes bien claires. Fraunhofer a attribué la présence de ces lignes claires à une portion de lumière qui n'a pas été décomposée dans l'acte de la réfraction au travers des

(1) Voir *Mém. de l'Acad. de Munich*, 1814-1815, déjà cités.

prismes, et qui se dessine sur le fond moins éclairé du spectre; mais il a opéré à l'aide d'une source lumineuse peu intense, qui ne lui a pas permis d'analyser complètement le phénomène.

M. Wheatstone (1), en 1833, en observant avec un télescope muni d'un micromètre la composition du spectre de la lumière électrique provenant d'une machine électro-magnétique disposée de manière à donner une étincelle d'induction ne variant pas de position, a obtenu les résultats suivants : le spectre de l'étincelle tirée du mercure consiste en sept bandes définies, séparées les unes des autres par des intervalles obscurs; elles sont composées de deux bandes orangées rapprochées l'une de l'autre, d'une bande vert-brillant, de deux bandes vert-bleuâtre très-rapprochées, d'une bande pourpre très-brillante, et enfin d'une bande violette.

Dans les spectres provenant des étincelles tirées du zinc, du cadmium, du bismuth, du plomb en fusion, M. Wheatstone a reconnu que le nombre, la position et la couleur des raies brillantes varient dans chaque cas. Le spectre du zinc et du cadmium donne une raie rouge qu'on ne trouve pas dans les autres spectres. Les effets ont été les mêmes quelle que fût la source qui fournissait la lumière électrique. En opérant dans le vide barométrique, dans celui de la machine pneumatique ou dans le gaz acide carbonique, etc., les résultats ont été les mêmes que dans l'air et dans l'oxygène.

Ce physicien a reconnu également que l'influence des métaux est tellement marquée que lorsqu'on tire l'étincelle à l'aide d'alliages, on aperçoit simultanément les lignes brillantes qui sont spéciales à chacun des métaux. Ainsi l'intervention de la matière pondérable du conducteur, qui est volatilisée, est bien évidente. Il résulte de là, ce qui a été confirmé du reste par les expériences de Fusinieri dont on a parlé précédemment, que l'étincelle qui traverse l'air entre des conducteurs métalliques ou autres contient toujours des particules matérielles incandescentes.

Masson (2) a étudié la composition de la lumière électrique en variant les sources d'électricité et en excitant les étincelles ou les décharges dans différents milieux et entre des conducteurs de diverse nature. Quelques-uns des résultats qu'il a obtenus sont conformes à ceux dont

(1) *Comptes rendus de l'Association britannique pour l'avanc. des sciences*; Dublin, 1835. — Becquerel, *Traité d'élect.*, en 7 volumes, t. 4, p. 34.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 31, p. 295, — t. 45, p. 365.

il vient d'être question; mais en étendant ses recherches il est arrivé à expliquer différentes circonstances de la production de la lumière électrique.

Voici la disposition de l'appareil dont il fait usage :

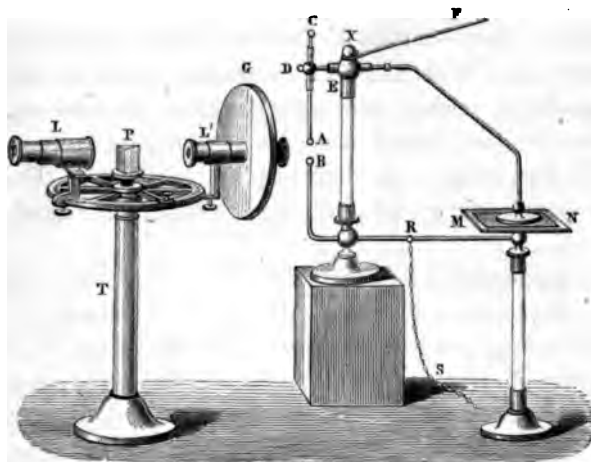


Fig. 20.

L'étincelle électrique dont on étudie la lumière éclate entre deux boules A et B, fig. 26. Ces deux boules sont placées à l'extrémité de deux tiges métalliques isolées et maintenues fixes à l'aide d'un support X; elles sont en relation avec les deux faces d'un condensateur MN, de

sorte que si la tige FC touche au conducteur d'une machine électrique et RS avec le sol, le condensateur se chargera continuellement, et l'étincelle n'éclatera entre A et B que lorsque cet appareil sera chargé. Si la machine fournit sans cesse de l'électricité, il se manifestera une succession de décharges entre A et B qui auront toujours même intensité. La lumière électrique traverse un prisme P placé sur un goniomètre T. La lunette L' renferme un collimateur à fente très-étroite, et la lunette L permet à l'observateur d'étudier le spectre successivement dans toute son étendue.

Au moyen de cet appareil non-seulement on peut observer l'étincelle provenant d'une machine électrique ordinaire, mais celle qui résulte de l'emploi d'un appareil d'induction; il suffit de faire communiquer les deux tiges AD et BR avec les deux extrémités du fil induit. En faisant éclater ces décharges entre le cuivre et le mercure, on a une intensité lumineuse très-grande. On peut aussi s'arranger pour produire l'étincelle AB dans un milieu gazeux autre que l'air, ce milieu étant pris à diverses pressions; enfin, il est facile d'adopter une disposi-

qui permet de faire éclater les étincelles dans des liquides. On a reconnu que dans l'air la position des raies et leur nombre dépend pas sensiblement de l'intensité de l'étincelle, qui rendent leur lumière plus vive en augmentant l'étendue du spectre. Le nombre des raies et leur position changent avec la nature des gaz entre lesquels éclate l'étincelle, et à chaque métal correspond un spectre particulier, dont l'inspection seule suffit pour déterminer la nature; suivant lui, dans tous les spectres on trouve quatre ou cinq raies différentes quelquefois par leur intensité, mais qui ne manquent jamais. On a dessiné les spectres donnés par différents métaux, et parmi les résultats qu'il a obtenus on peut citer les suivants : le cadmium employé comme conducteur donne des raies bleues et vertes très-belles; le zinc est un des plus beaux que l'on puisse obtenir.

Le cadmium produit beaucoup plus de raies brillantes que les autres métaux et sans couleur dominante; l'étincelle est très-blanche. Le bismuth présente le même caractère.

Le plomb donne à l'étincelle une lumière dont le spectre est remarquable par son étendue violette et par les belles raies que présente cette lumière. Le zinc est caractérisé par le vert-pomme très-étendu de son spectre.

Le charbon est remarquable par la multitude de raies brillantes qu'il présente. Le fer et l'étain n'offrent rien de particulier.

Le spectre produit entre des conducteurs en argent est caractérisé par une teinte verte, très-intense, et par plusieurs lignes de cette couleur.

Le spectre obtenu avec des étincelles éclatant entre des conducteurs d'or contient plus de jaune que celui qui est produit par l'argent et des lignes violettes remarquables. Quant au platine, il n'offre rien de particulier.

Actuellement, pour faire ces mêmes expériences, au lieu d'un appareil semblable à celui de la figure 26, on se sert d'un spectroscopie ordinaire, comme celui qui a été décrit dans le livre précédent, page 150. Si on fait éclater alors les étincelles entre des électrodes métalliques, par exemple de sodium, de thallium, etc., on observe les raies caractéristiques de ces métaux et identiques à celles que donnent les flammes, qui ont été représentées planche fig. 18; en même temps, on peut voir souvent d'autres raies que celles des flammes, en raison de l'incandescence excessive qui se produit avec l'électricité, et comme on l'a expliqué dans le livre IV.

On peut observer les étincelles produites au milieu des liquides ; plusieurs d'entre eux, comme l'essence de térébenthine, sont assez isolants pour permettre une décharge immédiate dans la masse. Pour d'autres, tels que l'eau, qui laissent facilement circuler l'électricité de tension, on fait précéder l'étincelle d'une étincelle dans l'air.

Masson, qui avait soumis ces étincelles au même mode d'expérimentation que les autres, n'avait observé aucune raie brillante dans leurs spectres. M. Daniel (1) s'est assuré depuis que si l'étincelle n'est pas très-forte, on peut voir au milieu des liquides les raies caractéristiques des électrodes, en même temps que les raies qui proviennent de l'incandescence des éléments dont ils sont formés, de sorte que l'étincelle a lieu comme si elle éclatait dans la vapeur même de ces liquides. M. Du Moncel et M. Seguin ont également observé l'image spectrale de l'étincelle d'induction dans diverses circonstances (2).

On a vu plus haut que M. Wheatstone avait remarqué que le spectre de l'étincelle tirée du mercure consistait en 7 raies ou bandes brillantes ; M. Gladstone (3) en analysant la lumière de la lampe photo-électrique construite par M. Way, et qui consiste en une veine de mercure portée à l'incandescence et volatilisée au moyen d'un fort courant électrique, a reconnu que cette lumière présentait 23 raies depuis le rouge jusqu'à bien au delà du violet, parmi lesquelles il y en avait 5 de plus remarquables que les raies H du spectre solaire. La particularité la plus remarquable de ce spectre est le grand éclat de la 23^e raie, située bien au delà de H, dans une région où le spectre solaire ne contient plus de lumière qui soit visible sans des précautions particulières, consistant dans l'élimination des rayons voisins de plus forte intensité. Les rayons de cette réfrangibilité sont donc incomparablement plus intenses avec la lumière électrique du mercure qu'avec la lumière solaire. Quand elle est concentrée sur l'œil l'impression en est d'un rouge violet, et quand elle a un éclat moindre, d'un gris rougeâtre.

M. Angström (4), qui s'est également occupé de la composition de la lumière des étincelles électriques, a fait voir que les raies brillantes qui ne dépendent pas de la nature des électrodes proviennent de la nature

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. 57, p. 98.

(2) Du Moncel, *Notice sur l'app. d'induction*, 5^e édit. ; 1867.

(3) *Philosoph. magazine*, 4^e série, t. 20, p. 249. — *Ann de chim et de physique*, 3^e série, t. 61, p. 158.

(4) *Ann. de Poggendorf.*, t. 94, p. 144.

du gaz au milieu duquel la lumière électrique se produit. M. Van der Willigen (1) a étudié particulièrement cette influence des gaz, en disposant les deux électrodes dans l'intérieur d'un récipient où l'on pouvait faire le vide ou introduire des gaz à volonté. Il a trouvé, comme M. Angström, des raies caractéristiques de chaque gaz.

M. Plucker (2) a soumis à l'analyse des gaz raréfiés contenus dans des tubes qui ont été préparés d'abord par M. Geissler, et qui présentent quand ils sont traversés par des décharges d'induction des apparences lumineuses diverses, suivant la nature des gaz. Dans ce cas en effet l'incandescence excessive des gaz raréfiés donne lieu à des effets lumineux semblables à ceux qui seraient produits par des flammes formées avec ces gaz.

La disposition la plus simple consiste à avoir un tube capillaire *a b*, fig. 27, soudé à deux tubes d'un plus large diamètre A, B; ces deux tubes portent les électrodes qui pénètrent dans leur intérieur et y sont soudées. On voit que le gaz raréfié, qui est renfermé à l'intérieur, donne une ligne lumineuse très-brillante dans la partie capillaire *ab* de l'appareil et c'est cette ligne qu'on peut analyser avec un spectroscope ordinaire. Dans les parties A et B, on observe des stratifications plus ou moins fortes suivant la nature et la densité des gaz, mais dont il n'est pas nécessaire de nous occuper ici.

On trouve, au moyen de cette disposition, des systèmes de raies caractéristiques pour chaque gaz, comme on observe dans les flammes des raies brillantes caractéristiques des matières qui sont à l'incandescence dans ces flammes. Ainsi l'hydrogène donne trois raies, de teintes orangée, bleue et violette, et ayant les mêmes positions que celles des trois raies noires, C, F, G, du spectre solaire. Quand on opère avec des gaz composés, ces gaz peuvent être décomposés par le passage des premières décharges et alors on a les spectres des éléments sépa-



Fig. 27.

(1) *Ann. de Poggend.*, t. 106, p. 610, et t. 107, p. 473, 1859. — *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 57, p. 367.

(2) *Ann. de Pogg.*, t. 107, p. 497 et 638, 1859. — *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 57, p. 497.

rés, à moins que l'un d'eux ne disparaisse. C'est ce qui arrive pour la vapeur d'eau et pour certains gaz humides : la vapeur d'eau est décomposée, l'oxygène s'unit à l'électrode positive, et il reste de l'hydrogène facile à reconnaître par ses trois raies.

Chaque gaz offre des effets différents suivant sa nature, et M. Plücker a de plus montré que suivant l'intensité des décharges l'aspect de l'image spectrale pouvait changer, comme dans les flammes à des températures plus ou moins hautes les raies peuvent se trouver en nombre différent.

Conjointement avec M. Hittorf (1), il a analysé ces derniers effets, et il a reconnu, par exemple, qu'avec des tubes contenant de l'azote raréfié pouvait avoir un spectre présentant trois apparences différentes suivant le mode d'exciter les décharges qui se propageaient au travers du gaz. La cause de ces changements ne paraît pas être parfaitement connue.

On a vu, dans le livre précédent, que les décharges électriques sont employées pour reconnaître la position des raies données par la matière des électrodes volatilisée au moyen des décharges, et dans ce cas l'incandescence a lieu à la température la plus élevée que l'on puisse produire.

§ 2. Arc voltaïque.

Masson a obtenu des effets du même genre en réfractant la lumière de l'arc voltaïque formé dans l'air, comme en analysant celle des étincelles. Il a comparé les raies obtenues entre les mêmes pôles métalliques en faisant usage des étincelles, puis des arcs, et il a trouvé dans les spectres des arcs voltaïques des raies qui ont leurs analogues dans ceux des étincelles; mais beaucoup d'entre elles manquent. Il a attribué le moins grand nombre de raies brillantes du spectre de l'arc voltaïque à ce qu'il est produit par un faible excès de tension électrique, et qu'il se comporte comme étant formé par une succession d'étincelles moins vives que les étincelles ordinaires.

L'emploi des spectroscopes, c'est-à-dire le mode d'observation directe de l'image spectrale, est celui qui convient le mieux pour l'étude de la composition de la lumière électrique; cependant, on peut également se servir de la projection des images lumineuses réfractées de l'arc vol-

(1) *Philosophical transactions*, t. 155, 1865. — *Annales de chimie et de physique*, 4^e série, t. 3, p. 505.

que formé entre des électrodes de différents métaux, principalement lorsqu'on veut montrer dans un cours les principales lignes lumineuses caractéristiques de ces métaux. Pour opérer de cette manière, on produit l'arc voltaïque au moyen d'un régulateur de lumière électrique, et l'aide d'une disposition convenable on fait réfracter au travers d'un prisme très-dispersif, en sulfure de carbone ou en flint très-réfringent, un faisceau de rayons émanés de l'arc et qui vient donner sur un écran placé à distance une image du spectre lumineux.

La fig. 27 bis représente la disposition qui peut être employée lorsqu'on

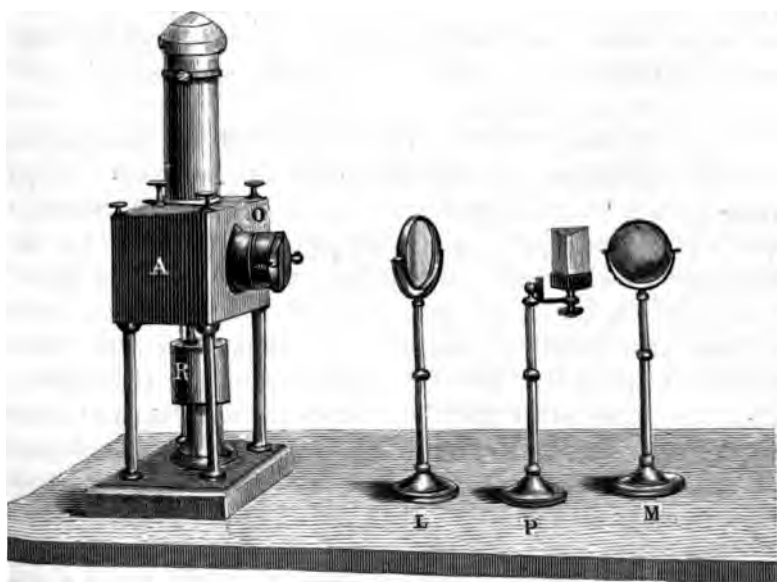


Fig. 27 bis.

sert du régulateur photo-électrique construit par M. J. Duboscq. est une lanterne métallique qui entoure l'arc voltaïque formé au moyen du régulateur R et empêche la diffusion de la lumière dans la salle des expériences. A la partie antérieure O se trouve une lentille dont le foyer correspond à la position de l'arc formé au milieu de A, de sorte qu'une portion des rayons lumineux émanés de cet arc est transmise horizontalement dans l'axe du tube O, et en traversant une fente rectangulaire verticale, dont on peut faire varier la largeur, vient en dehors de la lanterne.

Le faisceau de rayons lumineux parallèles qui traverse l'ouver-
longitudinale vient tomber sur une lentille achromatique L, dont
longueur focale est de 30 à 40 centimètres. Cette lentille a pour but
faire converger les rayons lumineux sur le tableau blanc qui doit re-
voir l'image du spectre, de sorte que l'ouverture rectiligne et le tableau
occupent deux positions de foyers conjugués par rapport à la lentille.

En P est placé un large prisme, à arêtes verticales, qui réfracte le
faisceau lumineux; on fixe ce prisme dans la position du minimum de
déviation pour les rayons moyens, et quand on veut recevoir l'image
spectre sur un tableau disposé perpendiculairement à l'incidence des
rayons, au moyen d'un miroir plan M, situé très-près de P, on dirige les
rayons réfractés dans la direction convenable pour que le spectre
trouve au milieu du tableau.

Si les conducteurs en charbon du régulateur R sont aussi purs que
possible, l'image par projection du spectre est continue et sans appa-
rence de raies brillantes. On s'en rend aisément compte en remarquant
que la plus grande partie de la lumière de l'arc voltaïque étant due à
l'irradiation des extrémités des conducteurs en charbon, le globe de
feu qui les entoure, ou la flamme due à l'incandescence des particules
gazeuses qui transmettent l'électricité, a une intensité moindre. Dès
l'image du spectre étant produite en grande partie par l'incandescence
d'un corps solide et les lignes lumineuses qui sont dues à l'incandescence
des gaz carbonés n'ayant qu'une intensité faible, celles-ci ne sont
pas apparentes, et le spectre ne doit pas sensiblement présenter de
raies. Du reste, pour faire cette projection du spectre et avoir une image
continue et bien lumineuse, on a soin de rapprocher l'un des deux
charbons polaires du régulateur, afin que l'arc soit plus court et que
les rayons qui forment le spectre émanent des pointes de charbon
candescentes.

Si l'on forme l'arc voltaïque avec des conducteurs métalliques, les
conditions changent, car les vapeurs métalliques incandescentes
donnent des lignes lumineuses d'une grande vivacité. On a toujours
deux spectres lumineux superposés, l'un, continu, dû à l'incandescence
des extrémités des conducteurs, l'autre dû aux vapeurs; au lieu de
rapprocher les conducteurs pour faire dominer le premier, on les éloigne;
on ne reçoit que la lumière du milieu de l'arc, et alors le spectre des
vapeurs incandescentes est seul appréciable.

On peut sans employer des électrodes métalliques avoir cepen-

images des spectres de vapeurs métalliques en opérant de la manière suivante : on dispose l'extrémité du charbon positif inférieur du régulateur R en forme de petite coupelle dans laquelle on place un fragment des métaux, tels que l'argent, le zinc, le cuivre, le thallium, le sodium, etc., que l'on veut volatiliser; puis on établit le contact de la pointe négative du charbon supérieur avec le fragment de métal, et dès qu'il y a le courant électrique qui circule dans le régulateur chauffe et volatilise la matière, et l'arc se trouve formé par l'intermédiaire des vapeurs métalliques incandescentes.

On opère avec un fragment d'argent placé dans la petite coupelle, la raie prismatique se trouve en partie composée par deux lignes vertes brillantes, l'une comprise entre D et E, mais plus près de E, et la raie correspondante à peu près à E.

Le cuivre donne trois raies vertes caractéristiques à peu près équidistantes; la moins réfrangible correspond à la plus réfrangible de l'argent, la deuxième et la troisième sont comprises entre b et F.

Le zinc a pour caractère une ligne rouge placée à l'extrémité la moins réfrangible du spectre, et un système de trois raies bleues d'une très-faible couleur, comprises entre F et G, les deux dernières étant voisines l'une de l'autre. Si au lieu de se servir de cuivre rouge on emploie le cuivre blanc, on a simultanément le système des trois raies correspondant au cuivre et celui des quatre raies qui correspondent au zinc.

Le thallium donne la raie verte caractéristique de ce métal (voir la planche fig. 18). Le sodium dans les premiers instants donne lieu à la production d'une raie noire à la place correspondante à D, puis peu à peu à l'apparition de la ligne jaune qui remplace cette ligne d'absorption; il se produit le même effet que celui qui a été décrit dans le livre, page 163. Les autres métaux donnent aussi des raies comme l'a indiqué dans le livre IV, page 154 et suivantes.

Dans ces différents cas la largeur des raies dépend de la largeur de l'ouverture projetée sur le tableau; si on diminue cette largeur d'ouverture, les raies sont plus déliées; en l'augmentant, la quantité de lumière reçue sur le tableau augmente, et les raies gagnent en grosseur, absolument comme lors de l'observation directe. Quant au nombre des raies, ainsi qu'on l'a déjà dit au commencement de ce paragraphe, il est moins grand qu'en opérant avec les étincelles.

Les résultats qui viennent d'être exposés et la présence des raies caractéristiques des spectres des étincelles aux mêmes places que les raies

brillantes des flammes qui renferment comme élément des particules provenant des électrodes entre lesquelles éclatent les étincelles, montrent donc que la lumière électrique est bien due à l'incandescence de la matière: cette incandescence provient en grande partie des particules volatilisées des conducteurs dans le cas des étincelles et des décharges, et de celle des milieux gazeux qui entourent les électrodes quand l'électricité traverse les gaz raréfiés. Ainsi, la composition de la lumière électrique conduit à la même conclusion que celle à laquelle on est arrivé par l'étude des autres propriétés de l'électricité.

CHAPITRE IV.

Persistence lumineuse des gaz après le passage des décharges électriques.

On verra dans le livre suivant qu'en 1857 (1) j'ai fait usage de tubes contenant de l'air raréfié pour rendre phosphorescentes des matières placées à l'intérieur au moyen des décharges qui les traversent. Quelque temps après (2), M. Ruhmkorff, qui disposa ces appareils suivant mes indications, me fit remarquer que dans certains tubes ne contenant que des gaz raréfiés, et que lui avait envoyés M. Geissler, on voyait après le passage des décharges des traces lumineuses persistant seulement pendant plusieurs secondes et analogues à celles que répandent les matières phosphorescentes dont on parlera plus loin.

On représente ci-contre, fig. 28, un de ces tubes formé par des sphères jointes entre elles au moyen de parties d'un plus petit diamètre, et dans les deux sphères extrêmes duquel pénètrent les deux conducteurs qui peuvent être réunis aux tiges polaires d'un appareil d'induction. Au moment où la décharge commence à passer, la partie intérieure des sphères présente dans l'obscurité une lueur blanchâtre opaline; dans les tubes de jonction elle se manifeste également, mais elle est diminuée par la lumière plus

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 55, p. 92.

(2) *Ibid.*, t. 57, p. 108.



Fig. 28.

ause de la décharge électrique. Une fois la communication avec l'appareil interrompue, cette lumière subsiste dans l'obscurité pendant plusieurs secondes, en décroissant graduellement d'intensité. Il y a une différence notable dans les deux sphères extrêmes ; la sphère en communication avec le pôle négatif, qui donne une lumière bleue pendant le passage de l'électricité, n'offre pas de persistance bien appréciable, tandis que la sphère positive, lumineuse rouge pendant la décharge, présente ces effets comme les sphères intermédiaires. En intervertissant l'induction dans l'appareil d'induction, on voit le phénomène se produire dans le tube, mais en sens opposé ; l'effet produit du côté négatif a peu de persistance.

J'ai étudié le passage des décharges électriques au travers des gaz des vapeurs raréfiés, passage qui donne lieu à des effets lumineux pendant de leur nature, afin d'examiner quels sont les gaz qui présentent l'effet de persistance lumineuse. Dans la plupart des tubes contenant des gaz tels que l'hydrogène sulfuré, le protoxyde d'azote, le chlore, on trouve de faibles lueurs persistant après le passage de l'électricité par induction, ou même d'une simple décharge d'une batterie électrique, mais l'action semble bornée à la surface intérieure du tube de verre. Elle ne paraît pas due à la phosphorescence du verre, car ces tubes exposés à l'action d'une vive lumière, puis rentrés dans l'obscurité, ne donnent lieu à aucune action de ce genre, et il faut, comme on le verra, employer un phosphoroscope pour observer des effets de persistance sur le verre, effets dont la durée est plus courte que celle qui suit l'action de l'électricité. L'effet présenté par des tubes contenant quelques gaz autres que ceux dont il va être question semble donc résulter d'une électrisation du verre ou de la couche gazeuse adhérente.

Avec l'oxygène j'ai observé un effet différent : après l'avoir préparé

au moyen du chlorate de potasse fondu, puis desséché et privé de chlore par son passage dans des tubes à potasse et à chlorure de calcium, en faisant passer au travers d'un tube contenant ce gaz raréfié les décharges d'un appareil d'induction fortement excité, et en interrompant tout à coup le passage de l'électricité, le tube paraît éclairé d'une teinte jaune, qui persiste pendant plusieurs secondes après l'interruption et va en décroissant plus ou moins rapidement suivant des conditions que je n'ai pu préciser jusqu'ici. Pour que l'effet soit bien manifeste, il faut que l'électricité transmise dans le gaz ait une certaine tension; aussi est-il préférable d'interposer un condensateur dans le circuit et d'exciter des étincelles à distance, dans l'air, entre un des conducteurs de l'appareil d'induction et l'un des fils de platine pénétrant dans le tube. Une simple décharge d'une batterie de plusieurs bocaux produit le même effet. Pour observer l'action lumineuse persistante il faut avoir soin de tenir les yeux fermés pendant les décharges et de ne les ouvrir qu'immédiatement après, afin que la rétine ne soit pas impressionnée à l'instant du passage de l'électricité. Il est nécessaire également que la partie du tube où la décharge se produit ait au moins 15 à 20 centimètres de longueur.

L'action particulière qui illumine le tube a lieu entre les molécules mêmes du gaz et non contre les parois du tube, car en se servant de sphères d'une capacité de 2 à 3 centimètres cubes, la masse entière du gaz devient opaline. En donnant plus de longueur aux tubes au-delà des fils de platine, on observe également que le gaz raréfié en dehors de la partie qui reçoit immédiatement la décharge donne lieu à une émission de lumière. D'un autre côté, cette opalescence du gaz indique que l'effet ne résulte pas de décharges électriques dues à l'électrisation du verre, et qui traverseraient l'espace éclairé après la cessation de la décharge électrique, comme on le produit en frottant le tube à l'extérieur. Quand un tube doit donner lieu à un effet de persistance lumineuse, il se produit au moment du passage de l'électricité une teinte jaune qui éclaire la masse de gaz dans le tube, et cela malgré les teintes diverses des rayons électriques, dont la couleur dépend de la nature des gaz mélangés; lorsque cette teinte jaune disparaît, tout effet de persistance cesse. J'ai fait remarquer qu'il était même possible que des gaz mélangés à l'oxygène augmentassent la durée de la persistance, car des tubes préparés dans des conditions semblables en apparence ont donné des effets variables d'intensité et de durée.

Si l'on opère avec un tube renfermant de l'oxygène raréfié et de petite dimension, après un certain temps du passage de l'électricité, l'effet de persistance cesse d'être appréciable; ce résultat semble montrer que la propriété particulière du gaz dont il est question peut disparaître au bout de quelque temps.

L'acide sulfureux a quelquefois présenté une action analogue; mais ce gaz ne s'étant pas montré constamment actif, j'ai pensé que l'émission lumineuse provenait peut-être de sa décomposition partielle. Il en est de même pour l'air raréfié en présence du phosphore. En général, j'ai observé que dans les gaz la présence de l'oxygène paraissait nécessaire pour produire le phénomène.

Depuis cette époque, M. Morren (1) a annoncé que l'oxygène seul ne devenait pas lumineux après le passage des étincelles, mais qu'il était nécessaire de le mélanger avec d'autres gaz, notamment avec de l'azote; que si au mélange on ajoutait un peu de vapeur d'acide azotique monohydraté elle est plus prononcée, et qu'elle est encore plus forte en ajoutant une goutte d'acide sulfurique anhydre. Il pense donc que les gaz secs et purs n'offrent aucune persistance lumineuse après le passage des décharges; il attribue ce phénomène à une réaction chimique et à la présence temporaire de produits qui sont ensuite détruits pour se reformer lors d'un nouveau passage des décharges. Cependant on doit remarquer qu'il a conclu que l'oxygène était nécessaire pour la production du phénomène, comme je l'avais annoncé en 1859.

J'ai fait de nouveau une série d'expériences se rapportant à ce sujet (2), et je me suis assuré que si des mélanges de gaz avec l'oxygène donnent des effets lumineux persistants plus marqués, néanmoins en employant de l'oxygène préparé avec du chlorate de potasse fondu, et convenablement desséché au moyen d'un tube rempli de potasse, ce gaz isolé devient lumineux après l'action des décharges électriques. Avec un petit ballon de 15 à 20 centimètres cubes successivement rempli d'air raréfié et de cet oxygène également raréfié, et qui était dans un gazomètre à mercure, l'air n'a présenté qu'une persistance à peine appréciable, tandis que celle de l'oxygène était bien manifeste, quoique de courte durée. J'ai pu reproduire cet effet dans le même ballon, à cinq ou six reprises différentes. On ne peut assurer que le gaz

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 4, p. 293, 1865.

(2) *Leçons faites à la Société chimique de Paris*, 1861, p. 187.

que j'ai employé ait été complètement pur, malgré les précautions prises pour qu'il en soit ainsi, et même s'il eût été pur, de l'azote ou d'autres produits existant dans l'atmosphère, et adhérant au verre auraient pu se mélanger avec lui dans le tube ou dans les ballons; on ne peut donc pas affirmer quelle est la cause du phénomène. On doit seulement admettre comme résultant des expériences : 1° que l'oxygène est nécessaire à la production de ce phénomène, et qu'on ne l'observe pas d'une manière très-marquée sans lui; 2° que les mélanges d'autres gaz peuvent augmenter l'effet de persistance.

Le phénomène de persistance dans l'action lumineuse ou de phosphorescence des gaz offre autant d'intérêt, soit qu'il tienne à un mouvement vibratoire des particules dû à l'action préalable de la décharge ou à l'incandescence qui en résulte, soit qu'il provienne des réactions chimiques exercées entre l'oxygène et des gaz ou des vapeurs. On sait en effet qu'un grand nombre de réactions chimiques ont lieu à basse température, mais aucune, sauf la combustion lente du phosphore et peut-être, dans certaines circonstances, la combustion du soufre ainsi que l'action lente de l'oxygène sur le bois ou les matières végétales, ne donne de lumière. On sait également qu'un grand nombre de cristaux peuvent se former au sein des dissolutions, mais ce n'est que dans des circonstances particulières, comme on l'a vu page 33 que l'acide arsénieux vitreux et des sulfates doubles produisent une émission de lumière; dans ces différents cas l'apparition des rayons lumineux n'est pas une conséquence nécessaire de l'action chimique ou de l'effet moléculaire, puisque des actions du même genre peuvent avoir lieu sans conduire au même résultat; elle pourrait provenir de changements dans la constitution des corps, et qui n'ont pu encore être appréciés. Ainsi cette persistance lumineuse temporaire, c'est-à-dire cette phosphorescence qui est produite par l'oxygène ou par son mélange ou sa combinaison avec d'autres corps, est aussi curieuse que l'effet lumineux donné par la combustion lente du phosphore (1).

(1) Je prends occasion de faire remarquer que lorsqu'on se sert d'un chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, si l'on examine la flamme seule, on voit, si l'oxygène domine comme une traînée de teinte jaunâtre qui se prolonge à l'extrémité du dard et au-delà. Cette teinte est analogue à celle que l'on observe dans les tubes à gaz raréfiés dont il vient d'être question.

CHAPITRE V.

Météores lumineux d'origine électrique.*1. Lueurs électriques de l'atmosphère; éclairs.*

La réunion des électricités entre les nuages orageux et la terre ne s'effectue pas toujours par des décharges donnant lieu aux effets de la foudre; souvent cette réunion s'opère lentement, par l'intermédiaire des corps placés à la surface du sol, et se manifeste par des aigrettes et des lueurs plus ou moins vives, principalement aux extrémités des corps terminés en pointe. Quelquefois ces lueurs apparaissent sur la tête des individus, à l'extrémité des objets qu'ils portent à la main, sur les pointes des lances et des fusils des soldats, etc.

Ces feux électriques sont plus fréquents en mer, à l'extrémité des mâts et des vergues que sur terre, parce que l'électricité n'a pas d'autres conducteurs pour se rendre dans l'eau. Ils y étaient connus depuis un temps immémorial sous les noms de Castor et Pollux, de feux Saint-Elme; dans de très-fortes tempêtes, on en a vu quelquefois sous la forme de langues de feu qui faisaient entendre de petites détonations.

On a des exemples de pluies étincelantes, de neige et de grêle lumineuses; ces effets sont dus à ce que les particules aqueuses viennent de régions fortement électrisées. On a cité des exemples de nuages lumineux, mais il s'agit de savoir alors si plusieurs phénomènes météoriques n'ont pas existé simultanément, et si ces effets n'ont pas été compliqués peut-être de ceux de l'aurore boréale. On a cité également des brouillards que l'on prétend avoir été lumineux, notamment celui de 1783.

Les éclairs qui sillonnent l'espace compris entre deux nuées, ou bien entre un nuage et le sol ou des objets qui sont à sa surface, sont le résultat de décharges électriques des nuages orageux. Leur durée n'atteint pas un millionième de seconde (1). Le son parcourant dans

(1) Arago, *Notice sur le tonnerre*. — *Annuaire du bureau des longitudes*, 1838, p. 267.

l'air environ 337 mètres par seconde, il doit s'écouler entre l'apparition de l'éclair et la détonation autant de secondes qu'il y a de fois 337 mètres entre le lieu où l'on est et celui où éclate la foudre. De lisle a compté une fois 72 secondes entre l'éclair et le bruit du tonnerre; c'est l'intervalle le plus long dont fassent mention les recueils météorologiques; ce nombre donne pour la distance moyenne de l'observateur au nuage où l'éclair s'est montré 24264 mètres, ou six lieues de 4 kilomètres.

Quand l'éclair brille sans être suivi d'un coup de tonnerre, on est assuré que le lieu où s'opère la décharge est situé à une distance telle de l'observateur que le son est inappréciable. Les éclairs dits de chaleur, parce qu'ils brillent dans les belles nuits d'été, ne sont probablement que la réverbération sur des couches atmosphériques élevées d'éclairs ordinaires produits dans des nuages orageux que l'on ne peut apercevoir à cause de la forme arrondie de la terre. Ces éclairs silencieux, étant engendrés au milieu de nuages situés à de grandes distances de l'observateur, le bruit des détonations et du roulement du tonnerre ne peut parvenir jusqu'à lui.

L'éclair suit toujours une ligne courbe ou brisée, la réunion des électricités s'opérant de préférence par le chemin de moindre résistance à la transmission de cet agent. L'étincelle ou la réunion des étincelles a une longueur variable, et peut atteindre même plusieurs lieues; cet effet provient non-seulement de l'action par influence, mais encore de la présence des nuages isolés ou même de globules de vapeur servant d'intermédiaires pour opérer la décharge. Il se produit dans cette circonstance l'effet que l'on remarque dans la bouteille de Leyde étincelante ou avec le tableau étincelant.

Ordinairement les éclairs sont blancs; quelques météorologistes prétendent en avoir observé de teintes semblables à celles que présente la lumière électrique dans un air plus ou moins raréfié.

On distingue trois classes d'éclairs: les éclairs de la première classe ont la forme d'un sillon de lumière, mince, serré, très-arrêté sur les bords, se mouvant en zig-zag et pouvant se bifurquer ou se diviser en plusieurs branches. Ces éclairs peuvent être comparés aux étincelles que l'on tire d'une machine électrique ordinaire.

Les éclairs de la deuxième classe comprennent ceux dont la lumière, au lieu d'être concentrée en un trait lumineux, occupe un espace considérable. La décharge électrique dans cette circonstance paraît avoir

à l'intérieur des nuages et en éclairer la masse. Ces éclairs, qui sont les plus communs, peuvent être comparés à l'étincelle brillante, brève et peu longue, qui résulte de la décharge d'une batterie dans laquelle l'électricité est condensée. La teinte de ces éclairs est souvent rouge très-intense, mêlé quelquefois de blanc ou de violet.

Ces éclairs de la troisième classe diffèrent des précédents sous le rapport de la vitesse et de la durée. Ils sont visibles pendant une, deux ou même dix secondes, de sorte qu'ils peuvent se transporter des nuages

à la terre pendant un temps assez appréciable pour que l'on puisse observer de l'œil leur mouvement. Leur forme est à peu près sphérique ;

là la dénomination d'éclairs en boule qui leur a été donnée ; ce sont de véritables globes de feu, qui se divisent parfois et rebondissent même sur la terre à plusieurs reprises. Ils ont des mouvements tantôt lents, tantôt rapides, et quelquefois en éclatant ils font entendre un bruit comparable à la détonation de plusieurs pièces de canon. Il est à remarquer que la foudre se présente en général sous cette apparence quand elle pénètre dans l'intérieur des édifices.

Jusqu'ici on n'a pu donner une explication satisfaisante de la formation et de la nature de cette sorte d'éclairs. On a bien émis l'hypothèse qu'ils sont produits par un écoulement continu d'électricité,

à l'accumulation des nuages supérieurs et ayant lieu là où l'on observe le phénomène. La marche du globe ne serait alors que le résultat du déplacement du point par lequel la réunion des électricités a lieu ; mais cette hypothèse n'explique pas toutes les circonstances du phénomène, et dans l'état actuel de la science on doit dire que l'on ignore quelle est l'origine de ces globes de feu.

§ 2. *Aurore polaire.*

L'aurore polaire est cette lueur formée par des rayons diversement colorés qui jaillissent de toutes les parties de l'horizon à certaines heures, dans l'hémisphère nord ou dans l'hémisphère sud ; quand on l'observe dans nos climats elle porte le nom d'aurore boréale. L'apparition de ce phénomène est annoncée par des perturbations exercées sur l'aiguille aimantée, qui établissent une liaison intime entre ce phénomène et la distribution du magnétisme sur le globe et nous indiquent qu'il a très-probablement une origine électrique.

L'aurore boréale dans nos contrées a en général l'apparence d'un

brouillard assez obscur vers le nord, avec un peu plus de ce l'ouest que dans le reste du ciel. Ce brouillard prend peu forme d'un segment de cercle s'appuyant de chaque côté sur La partie visible de la circonférence est bientôt entourée d'un blanche donnant naissance à un ou plusieurs arcs lumineux; ensuite des jets et des rayons de lumière diversement colorés du segment obscur.

Quand l'aurore s'est étendue, il se forme une couronne à où concourent les rayons lumineux. Le phénomène alors d'intensité; on observe cependant encore de temps à autre de lumière, une couronne ayant des couleurs plus ou moins tantôt d'un côté du ciel, tantôt d'un autre; enfin le phénomène cesse, la lueur se rapproche de plus en plus de l'horizon et vers le nord. Le segment obscur en se dissipant devient lui sa clarté est d'abord assez prononcée près de l'horizon, puis au-dessus et finit par se perdre dans le ciel.

Souvent sous nos latitudes l'aurore boréale ne se manifeste des teintes rougeâtres répandues dans le ciel vers le nord; elle peut affecter d'autres formes, quoique plus rarement; ainsi observé le 19 octobre 1726, à Breuille-Pont, une aurore composée d'un seul segment obscur percé symétriquement, autour de son crêneau à travers lesquels on croyait voir un incendie (1).

Dans le Nord ce phénomène est plus fréquent, et se présente sous un autre aspect et avec plus d'éclat. Les observations faites à Umeå (West-Finmark), dans la baie d'Alten (70° de latit. nord), l'hiver de 1838 à 1839, par la commission scientifique française ont bien ce fait en évidence (2).

Du 7 septembre 1838 au mois d'août 1839, dans l'intervalle de 206 jours, on a compté 143 aurores boréales, qui ont été survenues très fréquentes du 17 octobre au 25 janvier, pendant l'absence de la lune, de sorte que dans cette nuit de 70 fois 24 heures on a observé 64 aurores sans compter celles dérobées à la vue par un ciel entièrement nu et dont néanmoins la présence était accusée par les perturbations et les mouvements de l'aiguille aimantée (3).

(1) Mairan, *De l'aurore boréale*; Paris, 1754.

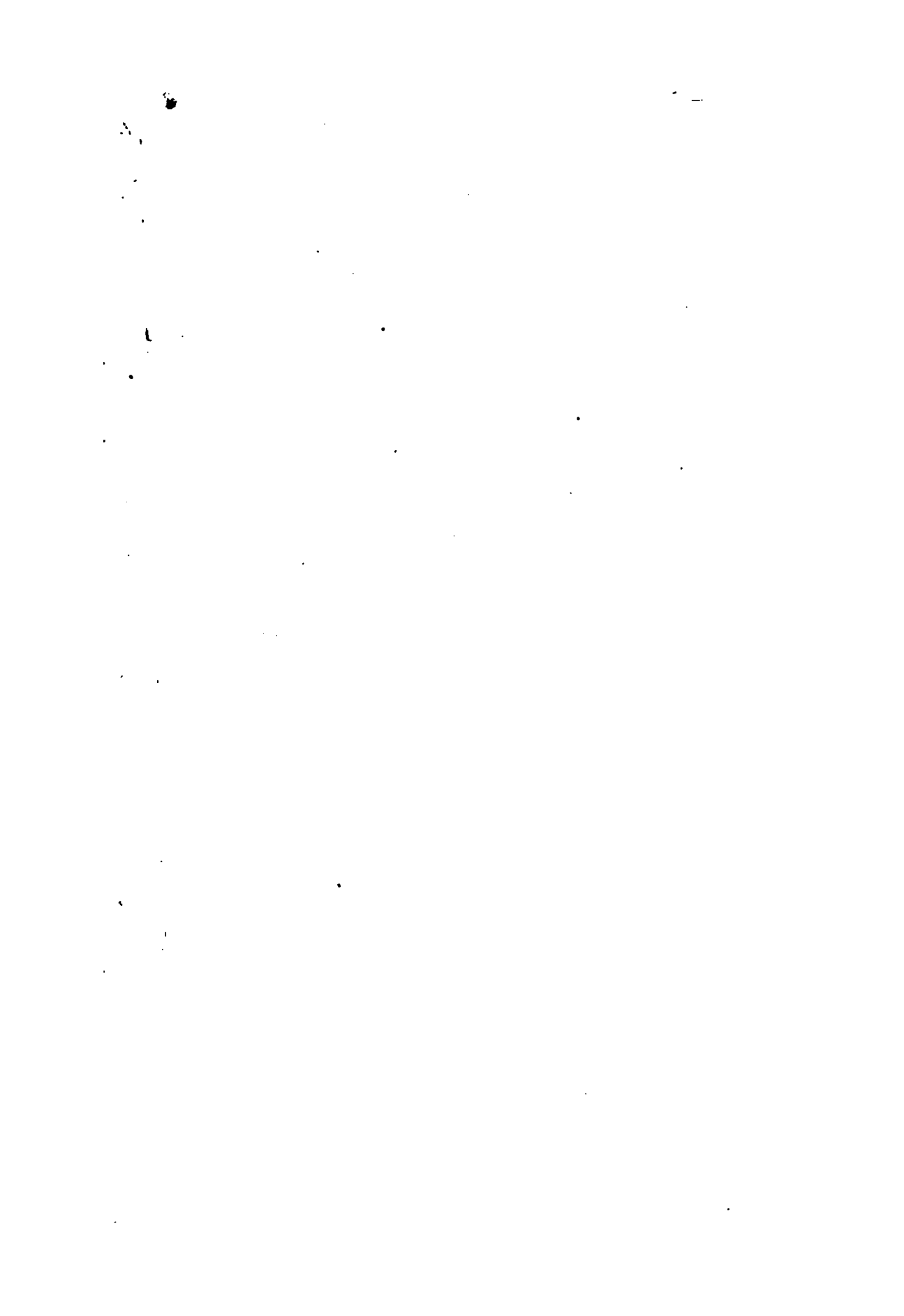
(2) *Voyage au Spitzberg, Partie physique*. — Becquerel et E. Becquerel, *Travaux de la commission scientifique française*, t. 1^{er}, page 441.

(3) La planche annexée à cet ouvrage représente deux aurores boréales : la première



Trava par Paul Signac.





En général dans ces régions le soir, entre quatre et huit heures, la lueur légère qui règne presque habituellement au nord de Bossekop, à hauteur de 4° ou 6°, se colore à sa partie supérieure ou plutôt se change des lueurs de l'aurore qui existe derrière. Cette bordure forme un arc vague, d'une couleur jaune pâle, dont les bords sont au-dessus dont les extrémités s'appuient sur la terre. Cet arc monte plus ou moins lentement, son sommet étant dans le méridien magnétique ou peu près.

Bientôt des stries noirâtres séparent régulièrement la matière lumineuse de l'arc, les rayons sont formés; ils s'allongent, se raccourcissent lentement ou instantanément; ils augmentent et diminuent rapidement d'éclat. La partie inférieure, la base des rayons, offre toujours la lumière la plus vive et forme un arc plus ou moins régulier. La longueur des rayons est souvent très-variée, mais ils convergent tous vers un même point du ciel, indiqué par le prolongement de la pointe sud de l'aiguille aimantée; parfois ils se prolongent jusqu'à un point de réunion, formant ainsi le fragment d'une immense couleur lumineuse.

L'arc continue à monter vers le zénith; il éprouve un mouvement oscillatoire dans sa lueur. Il offre un mouvement alternatif dans le sens horizontal, figurant les ondulations ou les plis d'un ruban ou d'un drapeau agité par le vent. Parfois une de ses extrémités et même toutes deux touchent l'horizon; alors les plis deviennent plus nombreux, mieux prononcés, l'arc n'est plus qu'une longue bande de rayons qui se courbe, se sépare en plusieurs parties formant des courbes qui se rejoignent presque sur elles-mêmes et offrent, n'importe dans quelle partie du voûte céleste, ce que l'on a nommé la couronne boréale. Alors l'éclat des rayons varie subitement d'intensité et dépasse celui des étoiles de première grandeur; les courbes se forment, se déroulent; les rayons se colorent: la base est rouge, le milieu vert, le reste conserve sa couleur lumineuse jaune clair. L'éclat diminue, les couleurs disparaissent, l'arc s'éteint subitement ou s'affaiblit peu à peu. Des fragments d'arc reparaissant, l'arc se reforme lui-même, continue son mouvement ascensionnel et approche du zénith; les rayons, par l'effet de la perspective, deviennent de plus en plus courts, puis le sommet atteint le zénith

1834, l'aurore vue le 9 janvier 1834 à Bossekop par la commission française; la deuxième, le 22 bis, l'aurore boréale observée par Mairan à Breuille-Pont, le 19 octobre 1726, et citée haut.

magnétique. Alors les rayons sont vus par leur base ; s'ils se colorent dans ce moment, ils montrent une large bande rouge à travers laquelle on distingue les nuances vertes qui leur sont supérieures. Si l'on pense que ces teintes se succèdent et que la voûte céleste à ce moment offre une coupole étincelante, on peut avoir une idée du magnifique spectacle qui s'offre à la vue.

La couronne lumineuse ne dure que quelques minutes, puis elle s'affaiblit ; l'aurore perd de son intensité. Des effets secondaires se produisent alors, tels que des lueurs vagues, puis ensuite des mouvements irréguliers appelés mouvements de palpitation, qui annoncent la fin de l'aurore. La lueur crépusculaire arrive alors peu à peu, et le phénomène s'affaiblissant graduellement cesse d'être visible.

On a cherché à mesurer la hauteur de l'aurore au-dessus de la terre en déterminant la hauteur angulaire des diverses parties d'un arc, de points remarquables aperçus à la fois dans divers pays. Tantôt on a trouvé que le phénomène avait lieu à 200 kilomètres au-dessus du sol, tantôt à 100 kilomètres, et en général à la limite de notre atmosphère.

La commission scientifique du Nord a émis l'opinion que dans les régions polaires les nuits sans aurore sont des nuits exceptionnelles ; le phénomène a donc lieu pour ainsi dire d'une manière continue. En moyenne il est cependant soumis à la période diurne, comme la plupart des phénomènes météorologiques ; ainsi, d'après Bravais, qui faisait partie de la commission et qui s'est beaucoup occupé de ce sujet pendant les 206 jours de la période dont il a été question, on a eu en moyenne

Pour la première apparition des arcs.....	7 heures 52 minutes du soir.
— des rayons.....	8 — 26 — —
— des plaques.....	11 — 18 — —
— des lueurs vagues...	3 — 32 — du matin.

Ces nombres ne sont que des moyennes, car dans le Nord le phénomène n'est soumis à aucune apparition rigoureusement régulière.

Si dans les régions polaires les aurores sont fréquentes et ont lieu pour ainsi dire, tous les jours, dans les latitudes moyennes elles sont plus rares, et ne se montrent que lorsque dans les régions polaires elles ont une certaine étendue. Mairan, qui a rapporté dans son traité *De l'aurore boréale* les exemples d'aurores dont il a pu avoir connaissance jusqu'en 1731, et qui a suivi lui-même les aurores parues en France pendant seize ans (de 1716 à 1731), a remarqué que dans nos

mais elles sont plus fréquentes en hiver qu'en été. En outre, ce phénomène ne s'est pas montré toujours de la même manière : ainsi, en 1724 il y a eu annuellement fort peu d'aurores, deux seulement ; en 1728 elles ont été très-fréquentes, mais jamais on n'en avait tant vu qu'au mois d'octobre 1731, où il y a eu en moyenne une aurore sur trois ans. Dans nos latitudes on compte annuellement en moyenne dix aurores boréales.

Bien des théories ont été imaginées pour rendre compte des aurores boréales (1) ; mais depuis que l'on a trouvé, dans le siècle dernier, que les aurores exercent une action perturbatrice sur l'aiguille aimantée, on les a généralement rapportées à l'électricité. Les arcs et les rayons que l'on voit dans les aurores polaires ont en effet de l'analogie avec ces arcs lumineux produits par les décharges électriques dans un gaz raréfié. Ces rayons seraient donc des traînées de matières gazeuses illuminées par des décharges électriques dans les régions élevées de l'atmosphère, capables de prendre toutes espèces de formes et de se diriger sous l'influence des pôles magnétiques de la terre. Ainsi l'électricité atmosphérique dégagée principalement dans les régions équatoriales et vient reconstituer de l'électricité naturelle dans les régions polaires, ce qui serait la cause de ce brillant phénomène météorique.

M. Delarive (2) a imaginé plusieurs dispositions particulières pour mettre en évidence l'action que le magnétisme exerce sur des rayons électriques produits dans les gaz raréfiés, et a montré comment ces rayons pouvaient recevoir un mouvement de rotation autour du pôle des aimants ; ses recherches viennent donc à l'appui de la théorie électrique des aurores polaires.

On représente d'abord ci-après, fig. 28 bis, l'appareil d'induction de Ruhmkorff, qui non-seulement sert à faire les expériences dont il est question ici, mais encore dont on a cité fréquemment l'emploi dans le courant de ce livre et dont l'usage sera invoqué pour la production de certains effets de phosphorescence.

Il y en a de plusieurs grandeurs, suivant l'intensité des effets que l'on veut produire : celui qui est représenté ici a les plus grandes dimensions que M. Ruhmkorff donne aux appareils, qui avec le courant d'une batterie de 6 à 8 grands éléments présentent dans l'air des étincelles de 33

1) Becquerel, *Traité d'électricité*, t. VI, p. 216.

2) *Comptes rendus*, t. 48, p. 1011 ; t. 54, p. 1171. — *Ann. de chim. et de phys.*, t. 54, 238.

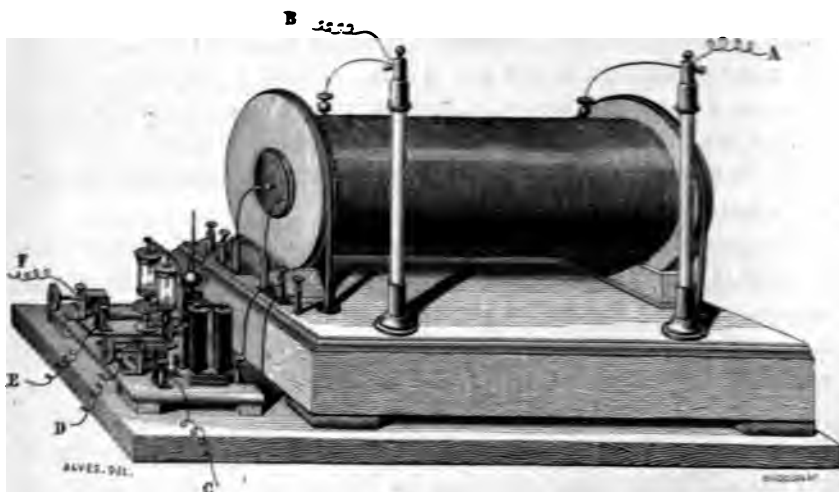


Fig. 28 bis.

à 40 centimètres de longueur. L'interrupteur à mercure est mis en mouvement au moyen d'un petit électro-aimant placé sur le côté, et qui reçoit le courant électrique d'une pile additionnelle de 1 ou 2 couples dont les pôles sont fixés aux fils C et D; le courant électrique inducteur passe par les fils E et F, est alternativement interrompu par le mouvement de l'interrupteur, et en traversant le gros fil de la bobine, produit dans le long circuit de fil fin terminé en A et B, les effets d'induction que l'on veut utiliser (1).

Parmi les appareils dont M. Delarive a fait usage, on peut citer le suivant comme très-facile à faire fonctionner et manifestant bien l'action exercée par le magnétisme sur les décharges électriques dans les gaz :

Un électro-aimant G fig. 28 ter, placé sur une tablette et se maintenant verticalement, peut être aimanté temporairement dans un sens ou dans un autre par un courant électrique transmis à l'aide d'un commentateur J; une barre en fer doux AB, entourée sur toute sa surface d'une couche isolante très-épaisse, sauf à ses deux extrémités, est fixée sur l'électro-aimant et pénètre dans l'intérieur d'un ballon ovoïde où l'on peut faire le vide; un anneau en cuivre CD, qui entoure la barre de fer doux dans l'intérieur du ballon, est isolé de cette barre, et au

(1) Voir pour la description des différents appareils d'induction la notice publiée par M. Du Moncel, 5^e édition 1867.



Fig. 28 ter.

moyen d'un bouton extérieur, placé à droite de l'appareil, permet aux décharges électriques de s'établir dans le ballon entre l'anneau et la partie supérieure A de la barre de fer. Pour atteindre ce but, la barre étant en rapport avec le fer doux de l'électro-aimant, il suffit de faire communiquer ce fer doux avec une des extrémités polaires d'un appareil d'induction analogue à celui représenté fig. 28 bis, dont l'autre extrémité polaire touche au bouton en relation avec l'anneau CD.

L'air du ballon peut être raréfié au moyen d'un des deux robinets qui sont à la partie supérieure et qui mettent l'appareil en rapport avec une machine pneumatique. Quand la raréfaction est suffisante, les décharges électriques répétées de l'appareil d'induction produisent une gerbe lumineuse AD qui reste fixe quand l'électro-aimant est à l'état naturel, mais qui prend un mou-

vement de rotation autour de la barre en fer AB quand l'aimantation de la barre change de sens. Le sens de ce mouvement dépend, non-seulement du sens des décharges, mais encore du sens de l'aimantation que l'on change à volonté au moyen du commutateur J.

Quand on opère avec de l'air ordinaire, la gerbe lumineuse est rouge comme les décharges électriques qui ont lieu dans les mélanges gazeux raréfiés où l'azote domine; mais si à l'aide d'une ampoule E, placée à la partie supérieure du ballon, on introduit dans le ballon un peu d'un liquide volatil comme l'alcool, l'éther, le camphre, le carbone, etc., en raréfiant le mélange d'air et de vapeur le phénomène a lieu comme précédemment, mais la teinte est différente et en général verdâtre ou blanchâtre.

On peut considérer la gerbe lumineuse comme le résultat de la décharge de l'électricité par l'intermédiaire des particules gazeuses, ainsi qu'on l'a expliqué précédemment, et dès lors cette

succession de molécules incandescentes constitue un conducteur mobile parcouru par des courants électriques et pouvant subir l'action des aimants comme les conducteurs métalliques parcourus par l'électricité. On est donc ici dans le cas d'un courant rectiligne mobile qui se met en rotation autour du pôle d'un aimant, car la tige AB ne fait que prolonger le pôle supérieur de l'électro-aimant G.

M. Delarive a également employé plusieurs dispositions curieuses pour donner aux jets de lumière une direction perpendiculaire à celle de la barre centrale aimantée et afin de se placer à peu près dans les conditions nécessaires pour figurer la position des rayons auroraux lors de l'apparition de la couronne boréale. Le phénomène est le même qu'avec l'appareil précédent; mais l'apparence et la position des rayons lumineux peuvent varier suivant la disposition des récipients et le degré de raréfaction des gaz et des vapeurs. D'après cela, les décharges électriques qui ont lieu dans les régions supérieures de l'atmosphère doivent subir l'influence du magnétisme du globe et recevoir une direction en rapport avec celle de l'axe magnétique de la terre.

LIVRE VI.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR L'ACTION DE LA LUMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

Substances dont la phosphorescence est de longue durée. — Phosphores artificiels.

§ 1. *Substances phosphorescentes diverses.*

La phosphorescence produite par l'action des rayons lumineux, consiste en ce que si l'on expose pendant quelques instants à l'action de la lumière solaire ou diffuse, ou à celle des rayons émanés d'une source lumineuse de quelque intensité, certaines substances minérales ou organiques, ces matières deviennent immédiatement lumineuses par elles-mêmes, et brillent alors dans l'obscurité avec une lueur dont la couleur et la vivacité dépendent de leur nature et de leur état physique; la lueur qu'elles émettent ainsi diminue graduellement d'intensité pendant un temps qui varie depuis plusieurs secondes jusqu'à plusieurs heures. Quand on expose de nouveau ces substances à l'action du rayonnement, le même effet se reproduit. L'intensité de la lumière émise, même pendant les premiers instants, est toujours beaucoup moindre que celle de la lumière incidente.

On a déjà dit dans l'historique, livre I^{er}, page 16, qu'il n'était pas probable que ces phénomènes aient été remarqués d'abord avec des pierres précieuses, mais qu'en 1602 ou 1603 la pierre de Bologne calcinée avait montré ce phénomène d'une manière bien évidente; on a observé ensuite des effets analogues avec des diamants, puis en 1675 avec le phos-

phore de Baudoin (résidu de la calcination du nitrate de chaux), et plus tard avec les corps dont il va être question.

Pour observer les effets lumineux produits par l'action propre des corps, il faut que l'observateur soit placé depuis quelque temps dans une chambre obscure, et qu'au volet de la fenêtre soit pratiquée une ouverture, de façon que l'observateur qui se tient à côté, les yeux fermés, puisse exposer les substances à l'action de la lumière, refermer l'ouverture, et examiner ensuite immédiatement les corps qui ont reçu l'impression du rayonnement. On reconnaît alors, par ce moyen, qu'un très-grand nombre de minéraux, de sels, de substances organiques, luisent ainsi pendant une ou plusieurs secondes après l'action du rayonnement solaire. L'action directe de la lumière solaire est préférable; cependant, pour les corps les plus impressionnables il suffit de l'influence de la lumière diffuse.

Ces effets se produisent également avec d'autres sources lumineuses que le soleil, mais avec une intensité qui dépend de l'intensité même de la lumière incidente et de sa composition; ainsi le sulfure de calcium, dont on parlera plus loin, peut être rendu actif à l'aide de la lumière d'une bougie; mais d'autres substances, moins impressionnables, ne reçoivent pas de cette source une action suffisante pour devenir lumineuses. La lumière des étincelles et des décharges électriques, au contraire, a une intensité très-grande; aussi sous son action les substances même faiblement phosphorescentes par insolation peuvent-elles devenir lumineuses dans l'obscurité (1). Du reste, la durée si courte de l'étincelle électrique, suffisante néanmoins pour rendre lumineuses les substances phosphorescentes, montre que le temps nécessaire pour que les substances impressionnables deviennent actives est extrêmement court. Ce temps nécessaire pour impressionner les corps, et qui est variable suivant leur nature, sera étudié dans le cours de ce chapitre.

Les effets de phosphorescence par insolation, comme on l'a vu dans le livre I^{er}, ont été le sujet de recherches plus nombreuses que ceux qui sont dus à l'action de la chaleur; mais on a plutôt examiné quelles étaient les substances qui étaient les plus lumineuses, au lieu d'étudier le mode d'action de l'agent lumineux et les circonstances qui influent non-seulement sur l'intensité, mais encore sur la réfrangibilité et la durée de la lumière émise.

(1) Becquerel, *Traité d'électricité* en 7 vol., t. 1, p. 45, et t. 6, p. 284. — *Traité de physique*, t. 2, p. 150.

Plusieurs des physiciens dont il a été question dans le livre 1^{er}, pour vérifier l'effet produit avaient comparé les corps phosphorescents à des verres s'imprégnant de lumière, et qui une fois à l'obscurité émettent la lumière absorbée. Mais cette comparaison n'est pas tout à fait exacte : car si l'influence du rayonnement sur une substance impressionnable donne lieu à une persistance dans l'impression que la lumière exerce sur elle, la partie du rayonnement qui produit cet effet est en général plus réfrangible que le violet visible, et se trouve formée des raies dont les vitesses de vibration sont les plus grandes ; et cependant la lumière émise par la substance après l'action du rayonnement a une réfrangibilité moindre. En d'autres termes, dans la plupart des cas, mais non pas dans tous, la phosphorescence résulte d'une émission de rayons de plus faible réfrangibilité, et par conséquent d'une vitesse de vibration moindre que celle des rayons qui, par leur influence, ont donné lieu au phénomène.

Je n'ai pas l'intention de présenter un tableau de tous les corps jouissant de la propriété d'émettre de la lumière après une exposition préalable au rayonnement lumineux, car cette propriété est beaucoup plus générale qu'on ne le suppose habituellement, surtout si l'on se place dans l'obscurité pendant un quart d'heure ou une demi-heure avant d'opérer, et si l'on examine les corps immédiatement après les avoir exposés à la lumière. Je me bornerai à citer ceux dans lesquels ces propriétés sont les plus marquées à la température ambiante, et en se servant simplement du mode d'observation qui vient d'être indiqué. On verra plus loin comment, à l'aide d'une autre méthode expérimentale, on peut connaître beaucoup plus encore le nombre des matières impressionnables à l'action de l'agent lumineux.

Les substances les plus lumineuses sont d'abord les sulfures alcalino-terreux, c'est-à-dire les sulfures de calcium, de barium et de strontium ; les deux premiers donnent les phosphores de Canton (jaune ou vert), et celui de Bologne (généralement orangé). Ces matières, quand elles sont bien préparées, peuvent luire pendant plusieurs heures dans l'obscurité sous l'action solaire, mais en présentant des lueurs décroissant rapidement d'intensité dans les premiers instants, puis allant ensuite en faiblissant plus lentement. Il n'est pas besoin de dire que la lueur est émise dans le vide comme dans les gaz, et que l'action n'est accompagnée d'aucun effet chimique ; elle est donc le résultat d'une modification physique temporaire. Parmi ces sulfures métalliques, en géné-

ral ceux de strontium et de barium offrent une plus grande vivacité dans l'émission de la lumière, et ceux de calcium donnent une plus grande variété de teintes.

Le sulfure de zinc obtenu dans des conditions particulières, comme on le verra dans le second paragraphe de ce chapitre, peut être phosphorescent à un aussi haut degré que ces substances. Les sulfures des métaux alcalins ne donnent aucun effet, ou du moins aucune action comparable à celle manifestée par ces matières; quant aux autres composés de strontium, de barium et de calcium, à l'exception peut-être des séléniures, ils ne paraissent pas offrir des actions aussi énergiques.

Après les sulfures que l'on vient de citer, on peut placer quelques minéraux, et en particulier un grand nombre de diamants et la plupart des échantillons de fluorure de calcium; mais tous les diamants ainsi que tous les fragments de fluorure de calcium ne sont pas lumineux, - il en est de même des sulfures cités précédemment, qui ne luisent point s'ils ne sont pas préparés convenablement, quoique ayant même composition chimique. Parmi les diamants, d'après Dufay, les diamants jaunes sont ordinairement les plus lumineux; cependant il y en a beaucoup de blancs, de bleus, etc., qui sont très-phosphorescents; la lumière émise est en général jaunâtre ou bleuâtre.

Quant à la chaux fluatée, c'est surtout la variété verte, connue sous le nom de *chlorophane*, qui est bien lumineuse par insolation; elle émet une lumière légèrement bleu-verdâtre. On dit généralement que la chaux fluatée blanche est à peine phosphorescente: je possède cependant un échantillon de cette matière, qui est très-blanc et très-limpide, et qui donne presque autant de lumière par insolation que le chlorophane verte, tandis que d'autres échantillons en apparence identiques ne donnent que de faibles effets. On retrouve donc des résultats analogues à ceux que l'on observe avec les diamants, et on ne connaît pas encore les causes qui modifient l'état moléculaire de ces corps de façon à les rendre plus ou moins phosphorescents ou à les laisser inactifs.

Le diamant et le fluorure de calcium n'offrent pas une grande vivacité de lumière, mais ils restent assez longtemps lumineux; ainsi j'ai vu un fragment de fluorure de calcium et deux diamants blancs émettre encore de la lumière une heure après l'insolation, ce qui indique que ces matières ont une grande capacité pour la phosphorescence, si l'on peut s'exprimer ainsi.

L'action de la chaleur ne modifie pas notablement le pouvoir que

possèdent les matières précédentes d'être lumineuses par insolation, pourvu que la température reste la même au moment de l'observation. Cette question, au reste, sera traitée dans la suite de ce livre.

Un très-grand nombre de minéraux et de sels peuvent être cités après ces substances précédentes, mais ils ne luisent souvent que pendant plusieurs secondes et quelquefois, mais rarement, pendant plusieurs minutes après l'action de la lumière; ces substances sont en général

base alcaline ou terreuse. Tels sont la leucophane, dont il a déjà été question dans le livre III, page 53, et la topaze de Sibérie (1).

Parmi les composés à base de chaux on peut distinguer, après le fluorure de calcium, l'arragonite et certains calcaires, principalement les calcaires concrétionnés (assez vivement lumineux verts pendant un temps qui peut aller jusqu'à dix à quinze secondes); la craie (lumineuse verdâtre); la chaux phosphatée, arséniatée, sulfatée; le nitrate de chaux desséché (phosphore de Baudoin, blanc-verdâtre); le chlorure de calcium desséché (bleuâtre); le cyanure de calcium, etc. Quant à la chaux elle-même, elle n'est pas lumineuse; suivant Dessaignes, elle peut présenter cet effet lorsqu'elle est hydratée; mais est-on certain qu'il n'y ait pas eu mélange de carbonate?

Un grand nombre de composés de strontium et de barium sont également lumineux; on peut citer entre autres le chlorure de barium, les cristaux de sulfate de strontiane (bleuâtres) et ceux de sulfate de baryte; les cristaux de carbonate de strontiane et de baryte (verts-jaunâtres); ces mêmes substances étant à l'état de précipités; les acétates de ces bases (verdâtres), etc. Il est à remarquer que parmi les sels de calcium le nitrate est un des plus lumineux, l'acétate l'étant peu; tandis que les nitrates de baryte et de strontiane sont peu phosphorescents et que les acétates de ces bases luisent avec assez d'intensité.

On observe également des effets très-marqués avec les substances suivantes: la magnésie; le carbonate de magnésie; la soude caustique fondue, ainsi que la potasse (bleuâtre); les sulfates de potasse ou de soude avec ou sans eau de cristallisation; le fluorure de sodium (bleuâtre); le chlorure de sodium desséché (jaunâtre); le chlorure de potassium; les iodures et nitrates de soude et de potasse; le cyanure de potassium (blanc bleuâtre); le carbonate de glucyne (verdâtre); l'acide succinique, le borax, l'acide oxalique, l'acide tartrique, etc.

(1) Dufay, *Mémoires de l'Acad. des sciences*, t. 53. — Dessaignes, *Journal de physique*, t. 55, p. 61.

Il est facile de montrer que l'état moléculaire, ou une certaine quantité d'eau de cristallisation, exerce une grande influence sur quelques-unes de ces substances, car en les fondant on peut leur faire perdre leur pouvoir de phosphorescence. Ainsi le nitrate de chaux, le chlorure de calcium, le sulfate de soude, le sulfate de potasse, le chlorure de sodium, pris à l'état de dissolution ne sont pas phosphorescents; si on les dessèche à l'aide d'un courant d'air chaud, ils deviennent lumineux sous l'action solaire; quand on les fond, ils perdent en partie cette propriété pour l'acquérir de nouveau, au même degré, en repassant par l'état de dissolution.

Malgré que l'eau soit, dans certains cas, un obstacle à la production de la phosphorescence, puisque le chlorure de calcium et le nitrate de chaux ne sont pas lumineux quand ils en renferment une certaine quantité, cependant le sulfate de soude, même avec de l'eau de cristallisation, est lumineux; néanmoins, ce dernier sel est moins phosphorescent que lorsqu'il est desséché à 100 degrés.

On peut citer parmi d'autres corps également phosphorescents le sel ammoniac, l'acide arsénieux, assez vivement lumineux vert jaunâtre, le sulfate de magnésie, l'alun. Le quartz cristallisé, en général n'est pas lumineux; cependant, l'on verra plus tard que dans certaines conditions il peut le devenir. Le verre qui n'a pas été préalablement chauffé n'est pas lumineux par le mode d'observation dont il est question ici, c'est-à-dire de manière à présenter une émission lumineuse quelque durée; suivant Dessaignes (1), après avoir été chauffé il le devient, pour perdre de nouveau cette propriété quelque temps après; mais il la reprend par une élévation nouvelle de température pour perdre encore ensuite. Il est possible que les changements d'hygrométrie du verre soient causes de ces différents effets.

Les composés métalliques sont rarement lumineux, surtout ceux qui sont produits par la voie sèche. On peut cependant citer parmi les exceptions la blende ainsi que les oxydes de plomb et de zinc.

Les matières organiques sont quelquefois bien lumineuses après l'action du rayonnement solaire ou d'une vive lumière artificielle; telles sont le papier, surtout le papier desséché, la soie, le sucre, le succin, le sucre de lait, la gomme arabique, les dents, etc. Quant aux liquides et aux gaz, on n'en a pas encore observé qui soient lumineux après l'in-

(1) *Journal de physique*, t. 71, p. 354.

solution et par le procédé décrit plus haut. Il semble que l'état de mobilité de leurs particules soit en général contraire à l'état moléculaire dans lequel doivent se trouver les corps pour qu'ils manifestent la phosphorescence après l'action de la lumière ; cependant, comme on le verra plus tard, les liquides peuvent présenter des effets de ce genre quand on a recours à d'autres moyens d'investigation.

Pour observer les différents effets qui viennent d'être cités, on s'est borné à exposer les corps à la lumière solaire ou diffuse et à les rentrer dans l'obscurité, de sorte qu'il se passe au moins une seconde entre le moment où ils cessent d'être frappés par les rayons solaires et celui où l'observateur les regarde ; mais on verra plus loin qu'en examinant ces corps une fraction de seconde après l'action du rayonnement lumineux on reconnaît que certains d'entre eux, avec lesquels on n'avait pas encore observé la propriété de phosphorescence donnent une émission de lumière.

J'ai déjà dit précédemment que la lumière des décharges électriques, dont l'intensité est si vive et qui contient une plus grande quantité de rayons très-réfrangibles que la lumière solaire, agissait plus énergiquement que celle-ci ; en effet, les expériences de phosphorescence faites par son intermédiaire peuvent être considérées comme de très-belles démonstrations des phénomènes dont il est question.

On n'a parlé jusqu'ici que de la lumière émise par différentes substances plus ou moins phosphorescentes, sans distinction de sa couleur ou de sa réfrangibilité. Les lueurs phosphoriques peuvent présenter les différentes couleurs prismatiques depuis le rouge orangé jusqu'au violet, mais je n'ai pas observé de teinte rouge correspondant à l'extrémité rouge du spectre solaire et par conséquent aux raies A et B. Avec des corps de même nature on peut obtenir différentes nuances ; ainsi l'on a dit qu'il y avait des diamants qui étaient lumineux orangés, d'autres bleus ; je n'ai pas été à même de constater ces derniers effets, et les diamants que j'ai pu étudier ont donné une lueur jaunâtre ou verdâtre plus ou moins bleuâtre. En général, avec les substances salines et les minéraux, les teintes prédominantes sont blanches avec une légère coloration verdâtre ou jaunâtre ; mais on verra plus loin qu'avec les sulfures alcalino-terreux la même substance préparée artificiellement peut présenter les différentes teintes prismatiques depuis le rouge orangé jusqu'au violet.

§ 2. *Sulfures phosphorescents. Couleur de la lumière émise à la température ordinaire.*

Les substances qui sont lumineuses au plus haut degré après l'absorption du rayonnement lumineux sont les sulfures alcalino-terreux, lesquels ont reçu spécialement le nom de *phosphores artificiels*; du reste ce sont principalement certains sulfures de calcium et de barium qui avaient servi aux recherches faites dans le siècle dernier, et dont il a été question livre I^{er}, page 25 et suivantes. On avait bien observé comme on l'a vu page 27, que suivant le mode de préparation les phosphores pouvaient présenter des nuances diverses, mais sans spécifier quelles étaient les causes de ces différences et s'il ne se produisait pas dans cette circonstance des corps dont la composition chimique n'était pas la même. Ayant été conduit à supposer que dans certains cas la même substance suivant son état physique était douée de propriétés lumineuses différentes, j'ai dû étudier à nouveau le mode de préparation de ces matières, si éminemment impressionnables avec d'autant plus de raison que je suis parvenu à connaître les conditions nécessaires pour produire avec certitude telle ou telle lumière ou bien tel ou tel effet, après l'influence préalable du rayonnement lumineux.

On ne peut obtenir les sulfures phosphorescents qu'en les préparant par la voie sèche et au moyen d'une élévation de température assez forte. Ce mode de préparation donnant en général des mélanges de matière il n'est pas possible de déterminer exactement la composition chimique des substances impressionnables; ce n'est que par induction, comme le verra plus loin, que l'on peut en inférer la constitution probable mais non certaine, de ces substances.

Les sulfures de strontium, de calcium et de barium, quand on place dans des conditions convenables, peuvent donner une émission de lumière parfois très-vive; s'il fallait classer ces corps d'après l'intensité de leur préparation, les sulfures de strontium seraient en exigeant une moindre élévation de température pour être obtenus; de calcium viendraient en second lieu, puis ceux de barium. À la réfrangibilité des rayons émis par ces sulfures, on peut dire avec les composés de strontium ce sont les teintes vertes et bleues qui sont dominantes, c'est-à-dire celles de l'extrémité la plus réfrangible du spectre.

avec les sulfures de barium, ce sont au contraire les teintes orangées, jaunes et vertes, ou les teintes de la partie la moins réfrangible de l'image prismatique; mais avec les combinaisons du calcium on peut avoir toutes les nuances depuis le rouge orangé jusqu'au violet.

Quel que soit le mode de préparation des monosulfures alcalino-terreux, il se forme en même temps des polysulfures, des sulfates et des hyposulfites; cependant, d'après les résultats dont on va parler, il est probable que la plupart du temps ce sont les monosulfures qui donnent aux composés le pouvoir de phosphorescence, et que suivant leur état physique particulier ils sont doués de propriétés diverses et luissent avec des teintes différentes.

On peut citer à l'appui de cette assertion les résultats suivants: Si l'on prépare les sulfures au moyen de la réduction des sulfates de chaux, de baryte ou de strontiane par le charbon, quelle que soit la température et la durée de l'opération, le pouvoir de phosphorescence du composé formé dépend de l'état primitif du sulfate; ainsi le sulfate de baryte cristallisé naturel donne une matière lumineuse jaune-orangé (phosphore de Bologne); le sulfate de strontiane naturel de Sicile, à cristaux bacillaires, donne une lumière bleu-verdâtre, et comme l'effet est le même, que la décomposition du sulfate soit plus ou moins avancée, on est donc porté à croire que dans tous les cas ce sont les monosulfures qui forment les parties actives de ces composés phosphorescents. Bien plus, si l'on réduit par le charbon des sulfates obtenus dans des conditions différentes, alors les effets lumineux sont différents: ainsi le sulfate de strontiane précipité de l'acétate par le sulfate de soude donne une matière lumineuse verte-jaunâtre, et non pas bleuâtre, comme le sulfate cristallisé de Sicile; le sulfate de baryte, également précipité dans les mêmes conditions, donne une matière phosphorescente verdâtre, et comme il se produit des monosulfures de même que précédemment, leur arrangement moléculaire seul doit être cause des différences observées, car il n'est pas probable que ces sulfures provenant de réactions chimiques analogues soient chimiquement différents.

On verra, au reste, dans un autre chapitre que la chaleur peut exercer sur quelques-uns de ces sulfures une action telle que ces corps acquièrent temporairement la faculté de luire avec presque toutes les nuances du spectre, suivant la température à laquelle ils sont élevés; quand on les ramène de nouveau à la température ambiante, ils reprennent leur pouvoir de phosphorescence qu'ils avaient avant l'expérience. Ces résultats

montrent donc que la composition chimique n'est pas la seule cause de ces changements, mais que l'état physique de la substance intervient dans la production de ces effets.

On peut citer encore le fait suivant, qu'il est utile de connaître, mais qui ne permet pas cependant de tirer la même induction : si l'on prépare des sulfures de barium et de strontium de manière à luire avec différentes teintes, violettes, jaunes, vertes, en les traitant par l'eau, les résidus ne sont plus phosphorescents, et les parties actives entrent en dissolution dans l'eau; en évaporant à siccité ces dissolutions, les résidus ne deviennent lumineux que si on élève leur température au rouge pendant quelques instants, mais alors ils présentent une teinte en général uniforme et qui est verte pour le sulfure de strontium et un peu plus jaune pour celui de barium. Ainsi l'action différente des phosphores dont on a fait usage ne se trouve pas conservée, puisqu'en passant par l'état de dissolution et par une élévation de température ultérieure les sulfures de chaque base présentent des effets semblables. Ce résultat provient, ou de la formation d'un oxysulfure, qui par l'action de la chaleur donne un sulfure toujours lumineux de même nuance, ou bien de ce que les états moléculaires primitivement différents de ces sulfures sont modifiés et ramenés à présenter une action uniforme.

Ces expériences mettent encore en évidence ce fait constaté déjà depuis longtemps, c'est que l'état de dissolution n'est pas celui dans lequel il faut prendre les corps pour observer les effets de phosphorescence par l'action du rayonnement lumineux.

Le sulfure dont il va d'abord être question est le sulfure de calcium, non-seulement en raison de la diversité des teintes qu'il présente, mais encore par le grand nombre d'échantillons de carbonate calcaire que j'ai pu faire servir à la préparation des matières impressionnables. Les couleurs émises par phosphorescence et indiquées ci-après sont celles que l'on observe lorsqu'à la température ordinaire les substances sont exposées à la lumière solaire ou diffuse, puis rentrées rapidement dans l'obscurité.

Sulfures de calcium.

On peut obtenir des sulfures de calcium à l'aide d'un grand nombre de réactions donnant le plus souvent des mélanges de matières différentes; bien que, d'après ce qui a été dit plus haut, on soit porté à

croire que les effets lumineux présentés par ces matières résultent principalement de l'action du monosulfure de calcium, cependant, pour exprimer uniquement les faits observés, on peut se borner à dire que ces réactions conduisent à des phosphores très-remarquables au point de vue des effets physiques, et eu égard aux considérations sur l'arrangement moléculaire que l'on peut déduire des phénomènes observés. On peut distinguer parmi ces réactions celles qui résultent 1° de l'action directe du soufre, 2° de l'action des sulfures, 3° de la réduction du sulfate de chaux.

Action directe du soufre. L'action du soufre sur la chaux et sur les carbonates, acétates, oxalates, nitrates de la même base, donne lieu à des masses douées de pouvoirs phosphorescents différents. Après avoir fait agir le soufre en vapeur sur ces composés, j'ai reconnu qu'il était préférable, ainsi qu'on l'avait fait antérieurement, de mélanger une certaine quantité de fleur de soufre à ces matières convenablement divisées, et d'élever la température des mélanges jusqu'au degré convenable.

Les anciennes préparations de sulfure de calcium phosphorescent étaient obtenues généralement avec des coquilles d'huitres calcinées : ce mode de préparation donne en effet de la chaux dans un grand état de division, état éminemment favorable à la manifestation de la phosphorescence ; aussi le phosphore de Canton provient-il de la calcination d'un mélange de coquilles déjà calcinées et de soufre, dans la proportion de 3 de matière pour 1 de soufre. Mais comme les coquilles d'huitres calcinées renferment en outre une petite quantité de sulfure provenant de la réduction du sulfate de chaux par les matières organiques ainsi que d'autres substances étrangères, il est préférable d'agir avec des corps dont la composition est bien déterminée.

Quand on veut préparer un sulfure phosphorescent avec de la chaux ou du carbonate de chaux, les proportions les plus convenables sont celles dans lesquelles sur 100 parties de matière en emploi 85 pour 100 de fleur de soufre dans le premier cas, et 48 pour 100 dans le second cas, c'est-à-dire lorsqu'on emploie les quantités de soufre qui seraient nécessaires pour être brûlées par l'oxygène de la chaux ou du carbonate et pour produire un monosulfure. On mélange les matières intimement, puis on les place dans un creuset en terre, au milieu d'un fourneau à réverbère alimenté avec du charbon de bois. On opère en général sur 10 à 20 grammes de matière. Si l'élévation de température

a été convenable et la durée de l'action de la chaleur suffisante, on retire du creuset après le refroidissement une masse lumineuse par insolation.

Il faut avoir égard dans la préparation à l'élévation de la température ainsi qu'à sa durée. En opérant en effet avec de la chaux provenant de l'arragonite fibreuse, et en portant le creuset à une température inférieure à 500 degrés pendant un temps suffisant pour que, la réaction entre le soufre et la chaux ayant lieu, le soufre en excès soit éliminé, on a une masse faiblement lumineuse avec une teinte bleuâtre; si cette masse est portée à une température de 800 à 900 degrés et ne dépasse pas la fusion de l'argent ou de l'or, et cela pendant vingt-cinq à trente minutes, alors la masse offre par phosphorescence une teinte lumineuse verte très-vive. Il faut toutefois faire remarquer que la composition chimique des deux substances n'est pas la même; cette différence d'effet néanmoins est à signaler, car avec le carbonate de chaux la réfrangibilité de la lumière émise ne varie pas autant avec l'élévation de la température qu'en opérant avec la chaux.

En général, si l'élévation de température est trop vive ou trop prolongée, toute trace de phosphorescence disparaît dans la matière; ainsi, en se servant d'un fourneau à réverbère alimenté avec du coke, l'élévation de température acquise au bout d'un quart d'heure suffit pour donner ce résultat. Il est donc préférable de faire usage d'un fourneau à réverbère ordinaire alimenté avec du charbon de bois et semblable à ceux qui servent dans les laboratoires de chimie, ou bien de la moufle d'un fourneau de coupellation.

On détermine de la manière suivante la durée de l'action calorifique nécessaire pour avoir le maximum d'effet : on met simultanément dans le fourneau, ou dans la moufle, plusieurs creusets contenant une même quantité du mélange soumis à l'expérience; puis, à partir du moment où les creusets sont portés au rouge-blanc, on les retire de cinq en cinq minutes ou de dix en dix minutes, et l'on compare les différentes matières ainsi obtenues. Avec la chaux et le carbonate de chaux, vingt-cinq à trente minutes de calcination donnent le maximum d'effet. Souvent on remarque que la masse centrale de la matière phosphorescente présente une nuance lumineuse un peu différente de celle des portions qui touchent au creuset ou bien qui se trouvent à la partie supérieure; cet effet provient probablement de l'action de l'oxygène ou de la vapeur d'eau sur les portions de matières dont il s'agit, et dans

les préparations dont il va être question on notera les circonstances dans lesquelles il a été observé. Du reste, on a eu soin en général de ne prendre que les effets donnés par la masse centrale de la substance phosphorescente.

Fréquemment, surtout lorsqu'il s'agit de la préparation des phosphores au moyen des carbonates, il est préférable de broyer de nouveau la matière déjà calcinée et d'y mélanger du soufre, afin de lui faire subir une deuxième et même une troisième calcination, et l'on obtient alors une masse phosphorescente homogène; tel est l'effet que l'on observe lors de la calcination du mélange de spath d'Islande pulvérisé et de soufre, ainsi que de celle du carbonate de strontiane.

En opérant dans les conditions précédentes à l'aide des carbonates ou des oxydes préparés par élévation de température, ces substances étant divisées et tamisées avec soin, et mélangées avec les proportions de soufre indiquées plus haut, on a eu les résultats suivants, en ayant soin de luter les couvercles des creusets contenant les mélanges :

MATIÈRES MÉLANGÉES AU SOUFRE.	COULEUR DE LA LUMIÈRE ÉMISE PAR PHOSPHORESCENCE APRÈS L'INSOLATION.
Spath d'Islande très-pur. Chaux de spath.	Jaune orangé. Jaune orangé moins vif.
Marbre blanc (de Carrare), Chaux de marbre blanc.	Jaune, lumière émise très-faible. Jaune, lumière émise très-faible.
Chaux de coquilles d'huîtres. Chaux de calcaire grossier, ou bien hydrate de chaux. Craie et chaux de craie.	Jaune (phosphore de Canton). Jaune, lumière très-faible. Jaune, lueur à peine visible.
Arragonite de Vertaison (crist. bacill.) Chaux d'arragonite.	Verte, intensité lumineuse moyenne. Verte, lumière faible.
Arragonite fibreuse. Chaux d'arragonite fibreuse.	Teinte dominante violette; quelques parties verdâtres. Verte, phosphorescence très-vive.

On voit que le calcaire et l'arragonite ne donnent pas les mêmes

effets ; le premier donne une lumière jaune et la deuxième une lumière en général verte. On doit remarquer, au reste, que la réfrangibilité de la lumière émise ne tient pas à l'action de la chaleur ni à sa durée, car on obtient les mêmes effets de couleur en élevant la température de la masse au-dessus du rouge à des degrés différents ; mais l'intensité lumineuse en dépend, car on obtient des matières plus ou moins phosphorescentes, et qui peuvent même cesser de l'être si l'on ne prend pas les précautions indiquées plus haut.

Il est curieux de rapprocher ces effets des phénomènes de phosphorescence que présentent les carbonates de chaux eux-mêmes avant toute réaction : en effet, le spath d'Islande n'est pas lumineux dans les conditions ordinaires ; mais en se servant du procédé qui sera indiqué plus loin, on trouve qu'il émet des rayons de teinte orangée. L'arragonite au contraire est assez vivement lumineuse après l'insolation, et donne une émission de rayons verts. Ces résultats tendent donc à indiquer que l'état particulier de ces carbonates se conserve encore dans les sulfures que l'on obtient après leur calcination préalable, avec le soufre. Ces effets paraissent peut-être tenir à d'autres causes que celles d'où dépend l'état cristallin ; car si l'on échauffe l'arragonite jusqu'à ce qu'elle se brise, on admet qu'elle se transforme alors en petits cristaux spathiques ; mais la masse sous cette forme conserve la faculté d'être phosphorescente avec une nuance verte à peu près semblable, et ne donne pas de lumière orangée comme le spath. D'un autre côté, nous allons voir qu'en faisant subir d'autres réactions à ces deux carbonates de chaux on tend à leur donner un pouvoir de phosphorescence uniforme, différent des deux précédents, et de telle manière que leurs sulfures présentent une teinte violette.

J'ai voulu voir quels étaient les effets produits en attaquant ces carbonates ou leurs bases par des acides, en formant ainsi des sels solubles, et en précipitant de nouveau ces sels par un carbonate alcalin, afin d'examiner de quelle manière les effets différents présentés par le spath, l'arragonite et d'autres calcaires seraient modifiés après ces diverses réactions chimiques. J'ai reconnu d'abord qu'il faut faire dissoudre les carbonates ou les bases de façon à ce que la dissolution soit neutre ou, mieux encore, légèrement alcaline ; on précipite ensuite la chaux par un équivalent de carbonate d'ammoniaque, et cela à la température d'ébullition du sel de chaux, puis on lave longtemps le précipité de carbonate formé. Il est nécessaire que le sel de chaux reste en dissolution et ne soit pas dessé-

is ni fondu préalablement avant de servir à la préparation du carbonate, car sans cela les effets pourraient être modifiés : ainsi, en servant d'acide nitrique ; si l'on évaporait les différents nitrates de chaux jusqu'à siccité et qu'on les fit fondre de façon à atteindre la fusion complète et la décomposition du nitrate, ils donneraient tous ensuite un carbonate qui calciné avec du soufre présenterait une masse phosphorescente violette d'une manière à peu près uniforme.

Les résultats contenus dans les deux tableaux pages 222 et 223 ont été obtenus en traitant le même poids de chaux ou de carbonate par les mêmes quantités d'acide nitrique ou chlorhydrique, et en servant des mêmes quantités d'eau et de carbonate d'ammoniaque afin d'obtenir le carbonate de chaux précipité ; on a opéré à la même température, et les expériences ont été répétées à plusieurs reprises :

On reconnaît d'abord que les carbonates naturels étant transformés en chaux, puis ensuite la chaux servant à préparer les nitrates qui, précipités par le carbonate d'ammoniaque, donnent de nouveau des précipités de carbonate de chaux, ces derniers présentent après leur calcination avec le soufre une teinte verte plus ou moins caractéristique, mais qui est très-vive quand il s'agit d'arragonite fibreuse ; dans ce dernier cas, on obtient un des plus beaux phosphores artificiels que l'on puisse préparer (vert légèrement bleuâtre). Mais si, au lieu de transformer préalablement les carbonates en chaux, on les attaque directement par l'acide nitrique, les matières obtenues donnent par phosphorescence une lumière orangée, jaune ou violette.

On voit en outre qu'après plusieurs transformations successives les carbonates de chaux traités par le soufre donnent une phosphorescence violette, comme lorsqu'on fond préalablement les nitrates desséchés. Ainsi, la cause ou l'arrangement moléculaire en vertu duquel le sulfate, l'arragonite et différents calcaires se comportent diversement quant aux teintes de la lumière émise après l'action du rayonnement solaire, se conserve encore dans quelques circonstances après la dissolution dans les acides et même après la transformation de ces carbonates en chaux par l'action de la chaleur ; mais, après plusieurs transformations ou certaines réactions, telles que la fusion ignée des sels formés, toute trace de l'origine primitive du carbonate disparaît, et les différents composés tendent à donner une seule et même teinte lumineuse par phosphorescence, laquelle est autre que celles que l'on observe avant ces transformations.

A.	B. PREMIÈRE SÉRIE D'OPÉRATIONS.		C. DEUXIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.		D. TROISIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.	
Composés servant à préparer les carbonates.	On change en nitrats ou en chlorure les composés A, puis on précipite le sel soluble de chaux par le carbonate d'ammoniaque, et l'on chauffe avec le soufre le carbonate obtenu.		On traite les carbonates de chaux B par les acides nitrique ou chlorhydrique. On précipite de nouveau par le carbonate d'ammoniaque et on chauffe avec le soufre le carbonate de chaux obtenu.		On transforme les carbonates de chaux B en chaux par calcination, on attaque ces derniers par les acides nitrique ou chlorhydrique et on précipite par le carbonate d'ammoniaque. On chauffe avec le soufre le carbonate obtenu.	
	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.
Spath d'Islande..... Chaux de spath.....	Ac. nitrique.. Jaune. A. nitrique.. Vertâtre et jaunâtre, le vert domine (lumière faible).		" "		" "	
Marbre blanc.....	Ac. nitrique.. Violet rose, quelques parties orangées.		" "		" "	
Coquilles d'huîtres.	Ac. nitrique.. Teinte verte dominante; quelques parties jaunâtres et violettes. " " " " " " Ac. chlorhyd. Jaune. Quelques points près du creuset sont violets. " " " " " " (Ac. nitrique. Verte, lumière assez vive.		" "		" "	

B.		C.		D.	
PREMIÈRE SÉRIE D'OPÉRATIONS.		DEUXIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.		TROISIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.	
Composés servant à préparer les carbonates.	On change en nitrate ou en chlorure les composés A, puis on précipite le sel soluble de chaux par le carbonate d'ammoniaque, et l'on chauffe avec le soufre le carbonate obtenu.	On traite les carbonates de chaux B par les acides nitrique ou chlorhydrique. On précipite de nouveau par le carbonate d'ammoniaque, et on chauffe avec le soufre le carbonate de chaux obtenu.	On transforme les carbonates de chaux D en chaux par calcination; on attaque ces derniers par les acides nitrique ou chlorhydrique, et on précipite par le carbonate d'ammoniaque. On chauffe avec le soufre le carbonate de chaux obtenu.	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.
Arrag. de Vertalson.	Ac. nitrique..	Ac. nitrique..	Ac. nitrique..	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.
Arragouite fibreuse.	Ac. nitrique..	"	"	"	"
Chaux d'arragonite fibreuse.....	Ac nitrique..	Ac. nitrique. Ac. chlorhyd.	Violette-bienâtre. Violette-bienâtre.	"	"
Crail (blanc d'Espagne).....	Ac. nitrique..	Ac. nitrique.	Jaune, lumière assez vive.	Ac. nitriques	Verte au centre, jaunâtre sur les bords.
Chaux de craie.....	Ac. nitrique.	Ac. chlorhyd. Ac. nitrique. Ac. chlorhyd.	Jaune, lumière assez vive. Violette-bienâtre. Violette-bienâtre.	Ac. chlorhyd. Ac. nitrique. Ac. chlorhyd.	Jaune, lumière assez vive. Verte. Violette-rose, lum. fr.-faib
Carbonate de chaux pur obtenu en traitant le chlorure de calcium cristallisé du commerce par le carbonate de soude.	Ac. nitrique.	Ac. nitrique Ac. chlorhyd	Violette rose. Violette rose.	Ac. nitrique. Ac. chlorhyd.	Verte (phosphor. faible). Violette-rose.

On reconnaît également que la nature de l'acide qui attaque la chaux ou le carbonate a une influence sur la manière dont le carbonate précipité se comporte quand on le traite par le soufre. En effet, quand on se sert d'acide azotique, on a de préférence une teinte verte; l'acide chlorhydrique, au contraire, employé pour la transformation préalable en chlorure ne donne que des teintes jaunes ou violettes.

Les résultats suivants montrent quelle est l'influence de la nature de l'acide ou du sel de chaux, et celle du carbonate soluble qui donne le précipité de carbonate de chaux :

On a d'abord pris du carbonate de chaux précipité pur (donnant une très-belle teinte verte par calcination avec le soufre), puis on a traité un poids déterminé de ce carbonate par différents acides pour former des sels solubles, que l'on a précipités par un même poids de carbonate d'ammoniaque à la température de 100 degrés; les carbonates de chaux obtenus ont donné, après la réaction du soufre à la même température et pendant le même temps, les résultats suivants :

NATURE DE L'ACIDE QUI A ATTAQUÉ LE CARBO- NATE DE CHAUX PRÉCIPITÉ.	TEINTE DE LA LUMIÈRE ÉMISE PAR PHOSPHORESCENCE.
Acide azotique.....	Verte (teinte analogue, quoiqu'un peu plus faible, à celle émise par le composé formé directement avec le carbonate précipité avant d'être attaqué par l'acide).
Acide acétique.....	Verte, plus vive que la précédente.
Acide chlorhydrique...	Violette, le centre de la masse est légèrement verdâtre.
Acide lactique.....	Verte, plus jaunâtre qu'avec l'acide azotique.
Acide iodhydrique.....	Ver'e, teinte plus faible que la précédente.

Ainsi les différences observées montrent bien l'influence de la nature du sel de chaux dissous sur l'état de précipité de carbonate formé dans les mêmes conditions de dissolution et de température.

Les résultats suivants ont été obtenus en traitant par le soufre le carbonate de chaux préparé avec l'eau de chaux et l'acide carbonique, ainsi que le carbonate de chaux obtenu en précipitant le chlorure de calcium cristallisé du commerce par différents carbonates alcalins.

MODE DE PRÉPARATION DU CARBONATE DE CHAUX.	TEINTE DE LA LUMIÈRE ÉMISE PAR PHOSPHORESCENCE.
chaux et acide carbonique. de calcium cristallisé et carbo- 'ammoniaque à 100°. de calcium et carbonate d'am- que à la température ordinaire. de calcium et sous-carbonate de à 100 degrés. de calcium et carbonate d'am- que à la température ordinaire. de calcium et sous-carbonate asse à 100 degrés.	Violette, lumière très-pure. Violette. Violette, teinte plus faible que la précé- dente. Verte, un peu sombre. Violette-bleuâtre faible. Violacée faible.

non-seulement la nature du composé de calcium, mais encore la nature de la dissolution et la nature du carbonate soluble ont une influence sur l'état du précipité, et donnent à la préparation la faculté de faire par phosphorescence des nuances diverses.

Différents effets permettent d'expliquer comment, lorsqu'on prépare un sulfure de calcium phosphorescent avec du carbonate de chaux et qu'on ne connaît pas l'origine, on peut avoir des effets lumineux moins brillants et des teintes diverses variables du jaune au rouge. L'intensité lumineuse dépend le plus souvent de l'action de la lumière, mais la réfrangibilité de la lumière émise dépend de l'état de la matière. La teinte verte très-vive obtenue par plusieurs précipités de carbonate tient peut-être à ce que ces précipités présentent la forme de l'arragonite; mais l'examen de ces précipités au microscope ne m'a pas permis de résoudre cette question. Je terminerai, en terminant ce sujet, que la matière phosphorescente verte dans les conditions indiquées plus haut est un des plus beaux produits obtenus et des plus persistants de tous ceux que j'aie pu préparer; elle ne se prépare pas toujours avec facilité.

Le sulfure en agissant sur le nitrate de chaux desséché a donné un sulfure de calcium à peine lumineux avec quelques points orangés; ce résidu calciné de nouveau n'a pas donné d'autre résultat. L'oxalate de chaux calciné directement avec le soufre a donné une phosphorescence de couleur jaune-orangée analogue à la précédente.

Action des sulfures. L'action des sulfures sur la chaux et sur les carbonates à la température rouge donne des effets analogues à celle du soufre, mais avec des différences dépendant sans doute de la température à laquelle ces sulfures sont décomposés, et dès lors de la température à laquelle la réaction a lieu entre le soufre qui en provient et la chaux. J'ai étudié l'influence d'un courant d'hydrogène sulfuré et de sulfure de carbone sur la chaux, sans obtenir aucun résultat bien net, si ce n'est une prédominance de matière lumineuse violette, ou plus de couleur lavande.

On a fait des mélanges de chaux, de carbonate de chaux, et même de fragments de coquilles d'huitres, préalablement calcinés, avec des sulfures d'étain, de mercure, d'antimoine, de cuivre, de zinc, etc., sans trouver d'autres nuances que des nuances violettes, bleues et jaunes verdâtres pâles. Deux seules réactions sont à noter ici : la réaction du sulfure d'antimoine sur la chaux, ainsi que celle du persulfure de potassium. Si l'on mélange de la chaux provenant du marbre blanc, par exemple, avec $\frac{1}{4}$ de son poids de sulfure d'antimoine, après trente minutes d'une élévation de température au rouge-blanc, on a une masse assez lumineuse jaune-verdâtre (vert pomme) ; des proportions différentes ainsi qu'une température plus ou moins élevée ou prolongée ne changent pas la nuance d'une manière appréciable, mais diminuent l'intensité lumineuse : il est probable, dans ce cas, qu'il se forme un antimonio-sulfure de calcium phosphorescent.

L'action du persulfure de potassium sur la chaux et sur le carbonate de chaux est beaucoup plus remarquable : Pour l'observer convenablement il faut placer au fond d'un creuset un poids déterminé de persulfure de potassium (5 à 6 grammes par exemple), et recouvrir cette substance d'un petit têt percé d'ouvertures ; on place sur le têt le carbonate de chaux, la chaux ou la substance sur laquelle on veut faire réagir le persulfure, et l'on élève la température du creuset jusqu'au rouge blanc dépassant pas 900 ou 920 degrés, c'est-à-dire la fusion de l'argent : le persulfure est décomposé, et le soufre qui se dégage réagit sur la matière superposée. Le maximum d'effet est atteint au bout de quinze à vingt minutes, et il ne faut pas dépasser cette limite de durée de l'action colorifique. On peut également mélanger les composés de chaux avec $\frac{1}{4}$ de leur poids de persulfure de potassium pulvérisé. Avec le carbonate de chaux, on obtient une masse offrant des teintes mélangées, mais se trouvent des parties lumineuses vertes très-brillantes ; avec des

elles d'huitres préalablement calcinées on a la plupart du temps des raies vertes très-vives. La couleur de la lumière émise est analogue à celle que donne la matière phosphorescente préparée avec le soufre et certains carbonates de chaux, tels que le carbonate provenant de la chaux d'arragonite fibreuse.

On obtient quelquefois lors de la calcination des coquilles avec le persulfure de potassium, ou bien dans certaines circonstances que je n'ai pas encore pu bien préciser en agissant avec le persulfure de potassium et la chaux, une émission de lumière bleue indigo indiquant la production d'un phosphore que je n'ai obtenu jusqu'ici que par ce moyen; on trouve en effet, comme on le verra plus loin, que certains raies du spectre agissent sur lui d'une manière spéciale. Ce phosphore présente un état physique particulier, que l'on peut obtenir aussi, mais temporairement, en maintenant entre 200 et 300 degrés le phosphore lumineux vert préparé par l'action du persulfure de potassium sur les coquilles d'huitres, ou bien en portant à la même température le phosphore lumineux vert-bleuâtre produit en faisant réagir le soufre sur le carbonate formé au moyen du nitrate provenant de la craie calcinée et du carbonate d'ammoniaque.

J'ai observé un fait qui semblerait indiquer que la présence de la potasse est nécessaire à la préparation de la matière phosphorescente lumineuse bleue; ayant à deux reprises différentes préparé du sulfure de calcium lumineux vert que l'on peut obtenir facilement par les procédés décrits précédemment, ou bien à l'aide des coquilles appelées porcelaines comme on l'indiquera plus loin, j'ai arrosé la masse à l'aide d'une petite quantité d'eau tenant en dissolution de la potasse caustique (2 à 3 pour 100 de potasse du poids de la masse phosphorescente), et en mélangeant tout, puis calcinant une seconde fois, j'ai obtenu une masse lumineuse bleue. Dans la première expérience la matière n'offrait cette teinte que dans certaines parties, dans la seconde elle avait partout cette couleur. Bien que la vivacité de la lumière émise ne soit pas aussi grande qu'antérieurement, je pense que la présence de la potasse facilite la formation de ce beau phosphore, si elle n'est pas toutefois nécessaire, et l'on peut expliquer alors pourquoi je l'avais obtenu accidentellement en calcinant des coquilles d'huitres avec du persulfure de potassium. Mais, d'un autre côté, l'on a égard aux changements que l'état moléculaire d'un corps peut porter dans la couleur de la lumière émise, on ne peut affirmer qu'il ne serait pas possible d'obtenir cette même matière par d'autres moyens.

Réduction du sulfate de chaux par le charbon. L'action du charbon sur le sulfate de chaux à une température élevée donne, comme on le sait, des sulfures de calcium composés presque en totalité de monosulfure phosphorescent si la température est suffisamment élevée et prolongée; mais l'effet produit varie autant qu'en faisant usage des procédés de préparation décrits plus haut, et suivant l'origine du sulfate, ainsi que son état moléculaire, on peut avoir la plupart des nuances indiquées précédemment. Pour faire cette préparation, on mélange intimement du sulfate réduit en poudre très-ténue ou bien précipité, avec 17 p. 100 de noir de fumée, et on porte la température de la masse au rouge-blanc pendant une demi-heure; une durée beaucoup plus grande anéantirait tout pouvoir de phosphorescence dans la masse de sulfure. On a eu ainsi les résultats suivants :

MODE DE PRÉPARATION DU SULFATE DE CHAUX MÉLANGÉ AU CHARBON.	TEINTE DE LA LUMIÈRE ÉMISE APRÈS L'INSOLATION.
Chaux ordinaire attaquée par l'acide sulfurique monohydraté; le résidu est lavé, puis desséché.	Jaune-orangé.
Chlorure de calcium cristallisé du commerce, et sulfate de soude; le précipité est desséché.	Jaune-orangé.
Nitrate de chaux, provenant de la chaux d'arragonite fibreuse et sulfate de soude.	Verdâtre faible, avec quelques points verts plus lumineux.
Sulfate de chaux cristallisé en petites aiguilles et provenant de la dissolution du bisulfate obtenu avec la chaux du commerce.	Violette.
Plâtre déshydraté ou hydraté.	Masse à peine lumineuse.

Ainsi, par ce mode de préparation l'état moléculaire du sulfate a une influence aussi grande qu'en faisant usage du carbonate ou de la chaux attaqués l'un ou l'autre par le soufre.

On peut obtenir également du sulfure de calcium phosphorescent en employant des cristaux de gypse (cristaux en fer de lance, ou cristaux trapéziens, blancs ou colorés) brisés en fragments de 2 à 3 centimètres de longueur sur autant de largeur et de 2 à 3 millimètres

d'épaisseur. On place 20 à 25 grammes de ces fragments dans un creuset, on les entoure de charbon pulvérisé, puis on les soumet à la calcination au rouge-blanc pendant vingt minutes; on retire alors du creuset le sulfate transformé en partie en sulfure, et ce dernier conserve la texture du gypse et se détache par lamelles : ce sont ces lamelles que l'on soumet à l'action du rayonnement lumineux. On reconnaît ainsi qu'avec les différents gypses et même avec les diverses parties d'un même échantillon, en élevant la température au même degré et avec la même durée de l'action calorifique, les effets de phosphorescence produits ne sont pas uniformes. Les lamelles ne brillent souvent pas de la même teinte dans toute leur étendue : souvent on observe des teintes jaunâtres et verdâtres; d'autres fois bleuâtres et violettes, et j'ai même obtenu des teintes bleues très-tranchées (1). Je n'ai pu reconnaître exactement les conditions nécessaires pour avoir avec du sulfate de chaux cristallisé des nuances déterminées et uniformes; cependant, il m'a semblé que les teintes bleuâtres correspondaient à une moindre élévation de température et à une moindre durée de l'action calorifique. Quant aux teintes jaunes-orangées, on ne les a pas observées de cette manière, si ce n'est accidentellement.

Phosphores préparés avec diverses coquilles. Si l'on calcine simplement des coquilles d'huitres dans un creuset porté à la température rouge-blanc pendant trois quarts d'heure environ, on trouve après le refroidissement que les coquilles sont phosphorescentes; elles doivent cette propriété à une petite quantité de sulfure de calcium provenant de la réduction du sulfate de chaux par le charbon, et qui se forme lors de la décomposition des matières organiques. Les teintes que l'on observe sont bleues-verdâtres claires, ou bien rouge-orangées; souvent une même coquille présente d'un côté cette dernière nuance et de l'autre la nuance verdâtre.

On peut se servir également de différentes coquilles telles que les pétuncles, les peignes, les porcelaines, etc., que l'on calcine séparément, comme les coquilles d'huitres; on pulvérise la masse obtenue, et on la mélange avec moitié de son poids de soufre, comme on l'a fait avec différents précipités de carbonate de chaux, et l'on obtint alors, après la calcination, des masses lumineuses avec une couleur jaune plus ou moins orangée ou

(1) *Ann. de physique et de chimie*, 3^e série, t. 22, p. 247 (1848).

effets; le premier donne une lumière jaune et la deuxième une lumière en général verte. On doit remarquer, au reste, que la réfrangibilité de la lumière émise ne tient pas à l'action de la chaleur ni à sa durée, on obtient les mêmes effets de couleur en élevant la température de la masse au-dessus du rouge à des degrés différents; mais l'intensité lumineuse en dépend, car on obtient des matières plus ou moins phosphorescentes, et qui peuvent même cesser de l'être si l'on ne prend pas les précautions indiquées plus haut.

Il est curieux de rapprocher ces effets des phénomènes de phosphorescence que présentent les carbonates de chaux eux-mêmes avant toute réaction : en effet, le spath d'Islande n'est pas lumineux dans les conditions ordinaires; mais en se servant du procédé qui sera indiqué plus loin, on trouve qu'il émet des rayons de teinte orangée. L'arragonite au contraire est assez vivement lumineuse après l'insolation, et donne une émission de rayons verts. Ces résultats tendent donc à indiquer que l'état particulier de ces carbonates se conserve encore dans les sulfures que l'on obtient après leur calcination préalable avec le soufre. Ces effets paraissent peut-être tenir à d'autres causes que celles dont dépend l'état cristallin; car si l'on chauffe l'arragonite jusqu'à ce qu'elle se brise, on admet qu'elle se transforme alors en petits cristaux spathiques; mais la masse sous cette forme conserve la faculté d'être phosphorescente avec une nuance verte à peu près semblable, et ne donne pas de lumière orangée comme le spath. D'un autre côté, nous allons voir qu'en faisant subir d'autres réactions à ces carbonates de chaux on tend à leur donner un pouvoir de phosphorescence uniforme, différent des deux précédents, et de telle manière que leurs sulfures présentent une teinte violette.

J'ai voulu voir quels étaient les effets produits en attaquant ces carbonates ou leurs bases par des acides, en formant ainsi des sels solubles, et en précipitant de nouveau ces sels par un carbonate alcalin, afin d'examiner de quelle manière les effets différents présentés par le spath, l'arragonite et d'autres calcaires seraient modifiés après ces diverses réactions chimiques. J'ai reconnu d'abord qu'il faut faire dissoudre les carbonates ou les bases de façon à ce que la dissolution soit neutre ou, mieux encore, légèrement alcaline; on précipite ensuite la chaux par un équivalent de carbonate d'ammoniaque, et cela à la température d'ébullition du sel de chaux, puis on lave longtemps le précipité de carbonate formé. Il est nécessaire que le sel de chaux reste en dissolution et ne soit pas des-

ché ni fondu préalablement avant de servir à la préparation du carbonate, car sans cela les effets pourraient être modifiés : ainsi, en se servant d'acide nitrique ; si l'on évaporait les différents nitrates de chaux jusqu'à siccité et qu'on les fit fondre de façon à atteindre la fusion ignée et la décomposition du nitrate, ils donneraient tous ensuite un carbonate qui calciné avec du soufre présenterait une masse phosphorescente violette d'une manière à peu près uniforme.

Les résultats contenus dans les deux tableaux pages 222 et 223 ont été obtenus en traitant le même poids de chaux ou de carbonate par les mêmes quantités d'acide nitrique ou chlorhydrique, et en se servant des mêmes quantités d'eau et de carbonate d'ammoniaque afin d'obtenir le carbonate de chaux précipité ; on a opéré à la même température, et les expériences ont été répétées à plusieurs reprises :

On reconnaît d'abord que les carbonates naturels étant transformés en chaux, puis ensuite la chaux servant à préparer les nitrates qui, précipités par le carbonate d'ammoniaque, donnent de nouveau des précipités de carbonate de chaux, ces derniers présentent après leur calcination avec le soufre une teinte verte plus ou moins caractéristique, mais qui est très-vive quand il s'agit d'arragonite fibreuse ; dans ce dernier cas, on obtient un des plus beaux phosphores artificiels que l'on puisse préparer (vert légèrement bleuâtre). Mais si, au lieu de transformer préalablement les carbonates en chaux, on les attaque directement par l'acide nitrique, les matières obtenues donnent par phosphorescence une lumière orangée, jaune ou violette.

On voit en outre qu'après plusieurs transformations successives les carbonates de chaux traités par le soufre donnent une phosphorescence violette, comme lorsqu'on fond préalablement les nitrates desséchés. Ainsi, la cause ou l'arrangement moléculaire en vertu duquel le spath, l'arragonite et différents calcaires se comportent diversement quant aux teintes de la lumière émise après l'action du rayonnement solaire, se conserve encore dans quelques circonstances après la dissolution dans les acides et même après la transformation de ces carbonates en chaux par l'action de la chaleur ; mais, après plusieurs transformations ou certaines réactions, telles que la fusion ignée des sels formés, toute trace de l'origine primitive du carbonate disparaît, et les différents composés tendent à donner une seule et même teinte lumineuse par phosphorescence, laquelle est autre que celles que l'on observe avant ces transformations.

A.	B. PREMIÈRE SÉRIE D'OPÉRATIONS. On change en nitrate ou en chlorure les composés A, puis on précipite le sel soluble de chaux par le carbonate d'ammoniaque, et l'on chauffe avec le soufre le carbonate obtenu.	C. DEUXIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS. On traite les carbonates de chaux B par les acides nitrique ou chlorhydrique. On précipite de nouveau par le carbonate d'ammoniaque et on chauffe avec le soufre le carbonate de chaux obtenu.	D. TROISIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS. On transforme les carbonates de chaux B en chaux par calcination, on atitue ces derniers par les acides nitrique ou chlorhydrique et on précipite par le carbonate d'ammoniaque. On chauffe avec le soufre le carbonate obtenu.
Composés servant à préparer les carbonates.	Acide saturant la chaux.	Acide saturant la chaux.	Acide saturant la chaux.
Spath d'Islande..... Chaux de spath.....	Lumière émise par phosphorescence. Jaune. Verdâtre et jaunâtre, le vert domine (lumière faible).	Lumière émise par phosphorescence. "	Lumière émise par phosphorescence. "
Marbre blanc.....	Ac. nitrique.. Violet rose, quelques parties orangées.	"	"
Coquilles d'huîtres.	Ac. nitrique.. Teinte verte dominante; quelques parties jaunâtres et violettes. Ac. chlorhyd. Jaune. Quelques points près du creuset sont violets. Ac. nitrique. Verte, lumière assez vive. Ac. chlorhyd. Teinte dominante violetâtre.	"	"

A.	B. PREMIÈRE SÉRIE D'OPÉRATIONS.		C. DEUXIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.		D. TROISIÈME SÉRIE D'OPÉRATIONS.	
Composés servant à préparer les carbonates.	On change en nitrate ou en chlorure les composés A, puis on précipite le sel soluble de chaux par le carbonate d'ammoniaque, et l'on chauffe avec le soufre le carbonate obtenu.		On traite les carbonates de chaux B par les acides nitrique ou chlorhydrique. On précipite de nouveau par le carbonate d'ammoniaque, et on chauffe avec le soufre le carbonate de chaux obtenu.		On transforme les carbonates de chaux B en chaux par calcination; on attaque ces derniers par les acides nitrique ou chlorhydrique, et on précipite par le carbonate d'ammoniaque. On chauffe avec le soufre le carbonate de chaux obtenu.	
Arrag. de Vertaison.	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.	Acide saturant la chaux.	Lumière émise par phosphorescence.
Arragonite fibreuse.	Ac. nitrique.	Violette-rose.	Ac. nitrique.	Violette-rose.	Ac. nitrique.	" "
Chaux d'arragonite fibreuse.....	Ac. nitrique.	Verte, quelques parties jaunâtre et bleuâtre.	Ac. nitrique.	Verte, lumière très-vive.	Ac. nitrique.	" "
Craie (blanc d'Espagne).....	Ac. nitrique.	Jaune, lumière faible.....	Ac. nitrique.	Jaune, lumière assez vive.	Ac. nitrique.	Verte au centre, jaunâtre sur les bords.
Chaux de craie....	Ac. nitrique.	Verte quelques parties bleuâtres; lumière faible.	Ac. nitrique.	Violette-bleuâtre.	Ac. chlorhyd.	Jaune, lumière assez vive.
Carbonate de chaux pur obtenu en traitant le chlorure de calcium cristallisé du commerce par le carbonate de soude.	Ac. nitrique.	Violette-rose.....	Ac. nitrique.	Violette-rose.	Ac. nitrique.	Verte (phosphor. faible).

Le sulfate provenant de la réaction de l'acide sulfurique monohydraté sur la strontiane, calciné avec du charbon, a présenté une masse phosphorescente verdâtre au centre et légèrement jaunâtre près des bords du creuset.

Le sulfate de strontiane obtenu par le nitrate de strontiane et le sulfate de soude a donné dans les mêmes conditions une phosphorescence verte légèrement bleuâtre.

On reconnaît, d'après ces résultats, qu'avec la strontiane anhydre la température a une influence sur la préparation, puisque au-dessous de 500 degrés la masse présente une lumière, jaune, et au-dessus du rouge une teinte violette d'une grande pureté, et cela quelle que soit la durée de l'action calorifique. Ce phosphore éprouve quelquefois un changement de nuance quand on l'expose à la lumière, et devient un peu rosé; c'est une action chimique indépendante du phénomène lumineux, comme on l'a déjà dit plus haut à propos du sulfure de calcium.

Avec le soufre et le carbonate de strontiane (préparé au moyen de l'acétate ou du nitrate de strontiane et du carbonate de soude), on a une masse lumineuse verte très-remarquable, et qui est le plus beau phosphore que l'on puisse obtenir avec les composés de strontium. Ce phosphore présente quelquefois une particularité assez curieuse; si la durée de la préparation n'est que de vingt minutes environ et ne dépasse pas le degré indiqué plus haut, la masse a une couleur propre légèrement jaune soufre; en même temps, comme on le verra dans un des chapitres suivants, elle est vivement lumineuse dans la partie ultra-violette du spectre avec une nuance semblable. Si l'on prolonge beaucoup la calcination, et que la température soit très-élevée, la couleur propre de la matière vue au jour diminue de plus en plus, et elle tend à devenir blanche sans que la lumière émise par phosphorescence change de teinte; cette dernière diminue seulement d'intensité. Souvent, pour avoir ce beau phosphore très-lumineux il faut calciner une deuxième fois et même une troisième fois la matière après l'avoir pulvérisée, mais sans ajouter de soufre; par ce moyen on a même une plus grande homogénéité dans la teinte de la lumière émise par phosphorescence.

Ce phosphore ne présente pas toujours la particularité d'avoir une couleur jaune-verdâtre quand on le regarde à la lumière du jour, et on verra que dans cette circonstance il émet simultanément des rayons de même nuance, mais de durée bien inégale; cependant, même quand il n'offre pas ces effets il peut être aussi lumineux dans l'obscurité après

MÉTHODE DE PRÉPARATION CARBONATE DE CHAUX.	TEINTE DE LA LUMIÈRE ÉMISE PAR PHOSPHORESCENCE.
aux et acide carbonique.	Violette, lumière très-pure.
le calcium cristallisé et carbonique à 100°.	Violette.
le calcium et carbonate d'ammoniaque à la température ordinaire.	Violette, teinte plus faible que la précédente.
le calcium et sous-carbonate à 100 degrés.	Verte, un peu sombre.
le calcium et carbonate d'ammoniaque à la température ordinaire.	Violette-bleuâtre faible.
le calcium et sous-carbonate à 100 degrés.	Violacée faible.

non-seulement la nature du composé de calcium, mais encore la nature de la dissolution et la nature du carbonate soluble ont une influence sur l'état du précipité, et donnent à la préparation la faculté de produire par phosphorescence des nuances diverses.

Ces différents effets permettent d'expliquer comment, lorsqu'on précipite du carbonate de calcium phosphorescent avec du carbonate de chaux, si on ne connaît pas l'origine, on peut avoir des effets lumineux très-divers, des couleurs brillantes et des teintes diverses variables du jaune au rouge, et l'intensité lumineuse dépend le plus souvent de l'action de la lumière, mais la réfrangibilité de la lumière émise dépend de l'état de la combinaison de chaux. La teinte verte très-vive obtenue par plusieurs précipités de carbonate tient peut-être à ce que ces précipités présentent la forme de l'arragonite; mais l'examen de ces précipités au microscope ne m'a pas permis de résoudre cette question. Je termine en terminant ce sujet, que la matière phosphorescente verte obtenue dans les conditions indiquées plus haut est un des plus beaux et des plus persistants de tous ceux que j'ai pu préparer; elle ne se prépare pas toujours avec facilité.

En agissant sur le nitrate de chaux desséché a donné un sulfure de calcium à peine lumineux avec quelques points rouges; ce résidu calciné de nouveau n'a pas donné d'autre résultat; l'oxalate de chaux calciné directement avec le soufre a donné une phosphorescence de couleur jaune-orangée analogue à la

3.

<i>Préparations.</i>	<i>Phosphorescence.</i>	<i>Teinte propre de la matière.</i>
N° 1.	Rouge-orangé.	Rouge brique.
N° 2.	Jaune légèrement rosé.	Brune.
N° 3.	Verte-jaunâtre.	Jaune soufre.
N° 4.	Bleu clair.	Blanche.
N° 5.	Bleu clair.	Blanche.
N° 6.	Violette.	Légèrement violacée.

La préparation n° 1 résulte de l'action du sulfure d'antimoine sur la strontiane anhydre.

La préparation n° 2 est faite au moyen de la réaction exercée entre le soufre et la strontiane caustique au-dessous de 500°, en agissant pendant peu de temps.

La préparation n° 3 résulte de l'action du soufre sur certains composés de strontium, voir page 234, ou bien de la réduction par le noir de fumée du sulfate de strontiane précipité.

La préparation n° 4 provient de l'action du soufre sur le carbonate de strontiane dans un large têt (voir pag. 235).

La préparation n° 5 est due à la réduction par le charbon des cristaux de sulfate de strontiane naturelle.

La préparation n° 6 résulte de l'action du soufre sur la strontiane anhydre au-dessus de 500°.

Les préparations 3 et 6 sont les plus belles.

Sulfures de barium.

Les sulfures de barium présentent dans certains cas, comme les sulfures de calcium et de strontium, des phénomènes de phosphorescence très-remarquables. Cependant, pour obtenir des masses bien lumineuses il faut en général une température plus élevée et plus soutenue que pour les autres sulfures; tel est l'effet produit lors de la réduction du sulfate de baryte naturel par le charbon, c'est-à-dire lors de la réaction qui donne lieu au phosphore anciennement connu sous le nom de *phosphore de Bologne*; d'un autre côté, toutes les masses obtenues ne sont pas lumineuses, comme lorsqu'il s'agit des sulfures de strontium.

Les différents composés du barium proviennent en général de la réduction du sulfate de baryte naturel par le charbon, puis ensuite de la décomposition du sulfure obtenu. Toutes les préparations que j'ai pu faire ne m'ont donné que des teintes variables du rouge orangé au

, et aucune nuance bleue et violette comme avec la strontiane et aux. La température du fourneau alimenté au charbon de bois est sante, surtout pour la réaction exercée entre le soufre et des carbonates, et le temps de l'action calorifique doit varier entre trente et ante-cinq minutes pour avoir le maximum d'effet. Voici quels sont les principaux effets qui ont été observés :

Action du soufre sur la baryte caustique ou déliée (31,5 p. 100).

La phosphorescence de la matière est jaune.

Action du soufre sur le carbonate de baryte préparé comme il est indiqué ci-après (25 p. 100 de soufre).

Le carbonate de baryte obtenu par l'eau de baryte et l'acide carbonique mélangé avec le soufre donne une matière lumineuse avec une teinte d'or ; certaines parties contre le creuset sont orangées.

Le carbonate étant obtenu au moyen de l'acétate de baryte et du bicarbonate de soude à 100 degrés présente dans les mêmes circonstances une masse phosphorescente jaune d'or à la partie centrale et adhérente contre les parois du creuset ; la lumière émise est très-vive.

Le même corps calciné avec le soufre dans un large têt a offert une phosphorescence rouge-orangée.

Le carbonate formé par l'acétate de baryte et le carbonate d'ammoniaque à 100 degrés donne une phosphorescence jaune-orangée. La lumière est moins lumineuse que les deux précédentes.

Le carbonate préparé avec le nitrate de baryte et le bi-carbonate de soude à 100 degrés donne une phosphorescence jaune avec quelques parties jaunes-verdâtres.

Le carbonate préparé avec le chlorure de barium et le bi-carbonate de soude à 100 degrés présente une phosphorescence verte-jaunâtre très-vive.

Le carbonate étant formé avec le chlorure de barium et le carbonate d'ammoniaque à 100 degrés, la phosphorescence est verte-jaunâtre, plus vive qu'avec la préparation précédente.

Action du soufre sur l'oxalate et sur l'acétate de baryte.

La matière est phosphorescente jaune avec une lumière peu intense.

Résultat de la réaction à la température rouge de l'azotate de baryte et du soufre.

La matière est phosphorescente jaune orangé avec quelques parties rougeâtres.

Calcination du sulfure de barium cristallisé.

La matière après une première calcination présente des nuances diverses jaunes, orangées et vertes ; après une deuxième calcination, la matière est phosphorescente, jaune d'or.

Réduction du sulfate de baryte par le charbon (10 à 15 pour 100 de noir de fumée) (1).

Le sulfate naturel, soit cristallisé, soit bacillaire, calciné avec le noir de fumée a donné une phosphorescence jaune-orangée avec des parties rouges-orangées.

Le sulfate de baryte préparé au moyen de la baryte caustique et de l'acide sulfurique monohydraté, puis lavé et desséché, a présenté dans les mêmes conditions une phosphorescence verte-jaunâtre faible.

Le sulfate de baryte obtenu avec le chlorure de barium et le sulfate de soude a donné une phosphorescence verte-jaunâtre, mais de faible intensité.

L'hyposulfate de baryte dans les mêmes conditions a donné une matière faiblement lumineuse verte-jaunâtre.

On reconnaît encore ici l'influence de l'état moléculaire du composé métallique sur la couleur de la phosphorescence, mais peut-être avec moins de netteté qu'avec les composés de calcium ; car les teintes de la lumière émise sont moins variables. Cependant, on peut voir que le chlorure donne un carbonate qui permet d'obtenir un phosphore lumineux vert, tandis que le nitrate et l'acétate ne présentent que les nuances jaunes et orangées. Il est à noter que les chlorures de calcium et de strontium tendent à donner des teintes bleuâtres et violettes, tandis que celui de barium permet d'obtenir une couleur verte ; d'un autre côté les nitrates et acétates de baryte ont donné des carbonates qui conduisent à des masses phosphorescentes de sulfures de barium jaunes et orangées, tandis que les combinaisons analogues de calcium et de strontium donnent des masses phosphorescentes vertes très-lumineuses.

Pour obtenir aisément le sulfure de barium lumineux orangé, un des

(1) Pour obtenir le phosphore de Bologne, au lieu d'employer la méthode de préparation du sulfure de barium appelée méthode de Margraff (voir livre 1^{er}, page 18), j'ai préféré faire usage de celle qui consiste à mélanger du noir de fumée et du sulfate de baryte, laquelle m'a donné de meilleurs résultats.

oyens les plus simples consiste à mélanger intimement avec du sulfate baryte naturel en masses cristallines, préalablement pulvérisé, 12 à p. 100 de noir de fumée, et à ajouter un peu d'alcool pour rendre le mélange plus intime. Quand la masse est desséchée, on la calcine au rouge dans un creuset pendant quarante-cinq à soixante minutes, à une température qui ne doit pas dépasser le cerise clair ou la fusion de l'argent. Ensuite, on broie de nouveau la masse et on la calcine sans rien ajouter. On fait agir sur 100 à 150 gr. de matière. Quand la masse retirée du creuset présente une teinte propre légèrement rougeâtre, c'est un indice que la calcination a été trop longue et l'opération est manquée. En opérant simultanément sur plusieurs creusets, que l'on retire successivement, on peut arriver à obtenir le résultat que l'on désire, car on ne peut prévoir la durée nécessaire à l'opération, ce temps dépendant de l'élévation de température donnée par le fourneau. Mais d'après ce mode de préparation, que la température soit plus ou moins élevée, la lumière émise après une insolation suffisante est toujours de même nuance, quoique plus ou moins vive.

L'influence de l'air à une température élevée se fait également sentir sur le sulfure de barium comme sur les sulfures de strontium et de calcium, et dans ce cas la masse donne lieu après l'insolation à une émission de lumière d'une teinte orangée plus rouge que celle obtenue sans l'intervention de l'air; tel est l'effet que l'on obtient en calcinant les matières dans un large têt.

On a fait agir sur la baryte, sur le carbonate et sur différents composés de barium, l'hydrogène sulfuré, la vapeur de sulfure de carbone et divers sulfures, et l'on n'a obtenu que des masses inégalement lumineuses, pâtres et verdâtres et peu homogènes; je n'ai donc pas cru devoir rapporter ici les résultats des expériences.

En somme, les préparations suivantes peuvent servir de types dans l'étude de l'action de la lumière sur les sulfures de barium, et surtout les nos 2 et 4, qui offrent une émission de lumière d'une grande vivacité dès les premiers instants qui suivent l'action lumineuse :

<i>Préparation.</i>	<i>Phosphorescence.</i>
N° 1.	Rouge-orangée.
N° 2.	Jaune d'or.
N° 3.	Jaune.
N° 4.	Vert légèrement jaunâtre.

La préparation n° 1 provient de l'action du soufre sur le carbonate de baryte obtenu par l'eau de baryte et l'acide carbonique, ainsi que de quelques parties provenant de la réduction par le charbon du sulfate de baryte cristallisé.

La préparation n° 2 résulte de la réaction du soufre et du carbonate de baryte obtenu par l'acétate et le bi-carbonate de soude, ainsi que de la réduction par le charbon du sulfate de baryte cristallisé.

La préparation n° 3 résulte de l'action du soufre sur la baryte.

La préparation n° 4 est obtenue par le chlorure de barium et le carbonate de soude ou d'ammoniaque.

Ces différents phosphores sont tous très-beaux.

Lorsqu'on a préparé des sulfures phosphorescents, ils conservent la faculté d'être impressionnés par le rayonnement tant qu'ils ne sont pas altérés; mais si on les abandonne à l'air humide, ils ne tardent pas à perdre peu à peu toute leur action. Pour les conserver intacts, il suffit de les enfermer dans des tubes de verre scellés à la lampe; j'en ai qui n'ont pas perdu leur impressionnabilité depuis seize ans, et on a vu dans le livre I, page 28, que j'avais un échantillon provenant de Canton et qui avait plus d'un siècle.

Lorsque les substances préparées sortent du creuset avec une certaine compacité, comme lorsqu'il s'agit des préparations de sulfure de strontium et de barium, il y a avantage à laisser la matière concassée en fragments dans l'intérieur des tubes et non pas à la broyer, car la cassure naturelle donne toujours une surface plus brillante que les cassures que fait naître la pulvérisation; mais dans le dernier cas, quoique la lumière émise soit moins vive, sa teinte est la même qu'avec les fragments.

On doit faire remarquer encore que les phosphores renfermés dans les tubes émettant toujours de la lumière, même quand les tubes sont vides, il est évident que c'est en vertu d'une action physique et non pas d'une combustion lente des corps que cet effet se produit.

Sulfure de zinc (blende hexagonale).

La blende naturelle est phosphorescente, mais pas, à beaucoup près, à un degré aussi élevé que le sulfure de zinc obtenu par volatilisation à très-haute température par M. Sidot (1). Dans cet état, le sulfure de

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. 62 et t. 63, p. 142 et 188.

ne au lieu d'être sous forme des cristaux dérivant du système cubique, comme la blende ordinaire, se présente en longs prismes hexagonaux ; le là le nom de blende hexagonale qu'on lui a donné.

Pour obtenir des cristaux de cette matière il faut la volatiliser dans un courant d'acide sulfureux ou d'hydrogène sulfuré ; ceux qui jouissent de la propriété de phosphorescence au plus haut degré sont préparés de préférence, d'après M. Sidot, dans un courant d'acide sulfureux. On place dans un tube en porcelaine des cristaux de sulfure de zinc soit de blende naturelle, soit ceux que l'on obtient par la calcination préalable du sulfure amorphe, et l'on élève très-fortement la température jusqu'au rouge pendant quatre à cinq heures en faisant passer pendant ce temps du gaz acide sulfureux dans le tube. Au bout de deux heures de la plus haute température du fourneau, les cristaux commencent à paraître dans la partie du tube en porcelaine qui est au dehors, et qui se trouve plus froide, et y grandissent assez pour en occuper tout le diamètre.

La matière forme ainsi une réunion de cristaux qui, vus au jour, ont parfois tout à fait blancs et limpides, et d'autres fois à la partie centrale de ces masses sont jaunes-verdâtres. Cette teinte rappelle celle des composés d'uranium, et est semblable à celle du sulfure de strontium lumineux vert dont on a parlé plus haut ; elle est probablement due, comme dans ce dernier corps, à un état moléculaire particulier, car les cristaux qui la présentent sont très-phosphorescents. Cependant, il y a des cristaux blancs qui donnent dans l'obscurité une émission de lumière aussi vive et aussi persistante. Ainsi, de même que pour le sulfure de strontium, on n'a pas trouvé jusqu'ici quelles sont les conditions nécessaires pour reproduire à volonté cette teinte particulière.

La blende hexagonale, blanche ou jaune, qui est bien lumineuse dans l'obscurité, donne une lumière verte qui rappelle tout à fait celle du sulfure de strontium vert ; l'intensité lumineuse après l'exposition à la lumière est peu différente qu'avec ce dernier corps, mais parait diminuer un peu moins rapidement. On doit remarquer que la partie centrale de ces agglomérations de cristaux est souvent seule lumineuse par ce mode d'investigation ; les parties environnantes qui ont été en contact avec le tube en porcelaine le sont moins ou même ne le sont pas du tout ; on verra plus tard qu'ils peuvent cependant présenter une phosphorescence de courte durée par d'autres moyens d'expérience.

Cette matière phosphorescente est très-intéressante et peut servir à des expériences sur l'action du spectre, car elle est inaltérable aux

agents atmosphériques, et sous ce rapport elle est plus facile à garder que les sulfures alcalino-terreux, qui ne conservent leurs propriétés qu'à l'abri de l'humidité et de l'action de l'acide carbonique. Elle est seulement d'une préparation plus laborieuse, et n'a donné qu'une phosphorescence persistante d'une seule nuance.

Je me borne à la description des méthodes de préparation des sulfures précédents comme se rapportant aux phosphores artificiels les plus brillants et les plus intéressants à étudier. Il y a bien d'autres matières qui présentent des effets analogues, mais qui ne peuvent approcher de ceux dont il a été question; tels sont les corps cités dans le 1^{er} paragraphe de ce chapitre.

J'ai préparé des sulfures d'aluminium, de magnésium et des métaux alcalins sans pouvoir obtenir jusqu'ici avec ces composés des masses phosphorescentes.

Le sélénium étant l'analogie du soufre, j'ai pu, en faisant réagir directement ce métalloïde sur la strontiane, obtenir un séléniure lumineux avec une belle teinte verte analogue à celle que donne le sulfure obtenu au moyen du carbonate de la même base. Si l'on pouvait disposer d'une certaine quantité de sélénium, on obtiendrait sans doute des matières phosphorescentes analogues aux sulfures alcalino-terreux.

Les cyanures des métaux alcalino-terreux sont également phosphorescents, mais à un moindre degré que les sulfures. Si l'on mélange, par exemple, à une dissolution de nitrate de chaux une solution de cyanure simple de potassium, on obtient un précipité qui, lavé et desséché, est phosphorescent par insolation avec une teinte légèrement verdâtre. Ces composés permettent de montrer, comme les sulfures, que leur arrangement moléculaire exerce une grande influence sur les résultats observés: en effet, si l'on prépare directement du nitrate de chaux avec un poids déterminé de spath d'islande, puis avec la même quantité d'arragonite, en précipitant les deux dissolutions par du cyanure de potassium et en faisant dessécher les précipités, celui qui est obtenu avec l'arragonite est beaucoup plus lumineux que l'autre, quoique la teinte de la lumière émise paraisse peu différente.

D'après les détails dans lesquels je suis entré, il me paraît probable que plusieurs des différences observées dans la manière dont les substances phosphorescentes se comportent par rapport au rayonnement lumineux tiennent dans certains cas à la composition chimique des matières, dans d'autres à leur état moléculaire, puisque dans les mêmes

circonstances de production de ces corps et à égalité de température, suivant que l'on a fait usage d'un chlorure ou d'un nitrate, ou bien suivant l'origine primitive de la chaux, ainsi qu'on l'a dit à propos des sulfures de calcium, les effets varient. Il est vrai que dans quelques cas des combinaisons différentes peuvent se produire, et alors elles luisent d'une manière particulière, comme je l'ai signalé précédemment; mais dans d'autres, comme lorsqu'on opère avec les carbonates de chaux ou lorsque l'on réduit en sulfures les sulfates des métaux alcalino-terreux, je ne pense pas que cet effet ait lieu. On doit remarquer que les matières phosphorescentes formées sont presque toujours des mélanges; mais comme ce sont les sulfures des métaux dont j'ai parlé qui présentent les effets lumineux par phosphorescence au plus haut degré, et que la préparation de ces matières doit être faite par la voie sèche, on est forcé d'avoir recours à ce mode de préparation: d'un autre côté, je me suis assuré que des mélanges de corps étrangers et de matières colorantes ne changent pas la couleur de la lumière émise par un corps après l'insolation.

Quand on voit des minéraux tels que le diamant et le spath fluor présenter des différences très-grandes dans l'intensité comme dans la couleur de la lumière émise, et cela probablement en vertu d'états moléculaires différents, on est porté à croire que les mêmes causes peuvent mener les mêmes effets quand il s'agit de substances qui, bien que d'une composition très-complexe, sont si éminemment impressionnables. Quelle est la cause de cette différence? tient-elle à la disposition des molécules, à leur distance? Il est impossible de répondre actuellement à cette question: on peut dire seulement, d'après les observations faites sur le carbonate de chaux, que la cause en vertu de laquelle les corps émettent des lumières différentes, c'est-à-dire en vertu de laquelle les molécules peuvent vibrer différemment, après l'action préalable de la lumière, paraît être autre que celle d'où dépend, dans un même corps, l'état cristallin différent.

CHAPITRE II.

Durée et intensité de la lumière émise.

§ 1^{er}. *Durée de la lumière émise par les différents corps phosphorescents à longue persistance.*

On a dit précédemment que le temps pendant lequel les matières phosphorescentes émettaient de la lumière dans l'obscurité était très-variable, et dépendait de la sensibilité des matières et de leur température. La plupart des minéraux et des substances salines lumineuses ne jouissent pas de la faculté de luire pendant plus de quelques secondes, ou, au maximum, de quelques minutes après l'action solaire à la température ordinaire; et encore faut-il que l'observateur soit resté dans l'obscurité pendant quinze à vingt minutes avant d'étudier les substances impressionnables, afin que sa rétine soit plus apte à saisir les moindres traces de lumière.

Il n'y a aucun rapport entre la durée de l'effet lumineux et l'intensité de la lumière émise à chaque instant : ainsi certains minéraux, comme l'arragonite, donnent une émission de lumière verdâtre assez vive, mais qui ne dépasse guère quinze à vingt secondes ; la leucophane, la chlorophane et certains diamants au contraire, qui après l'insolation sont moins lumineux que cette substance, offrent une durée qui est telle, qu'après une heure ils émettent encore de la lumière. Du reste, les expériences dont on va indiquer les résultats, ainsi que celles qui seront faites avec le phosphroscope, conduisent à la même conclusion.

On a choisi parmi les sulfures phosphorescents ceux qui présentaient les teintes les plus vives et l'intensité lumineuse la plus grande après l'action du rayonnement ; on les a impressionnés en les exposant à la lumière solaire pendant une ou deux secondes, puis on les a rentrés dans l'intérieur d'une chambre parfaitement obscure, afin de suivre le décroissement de leur intensité lumineuse. En outre, ces matières ont été placées dans une boîte dont on n'ôtait le couvercle

au moment de l'observation, afin de les soustraire le plus possible à l'influence de la lumière extérieure qui aurait pénétré dans la chambre noire. On a suivi d'abord ces phosphores pendant une heure, puis ensuite on est revenu dans la chambre noire vingt minutes avant l'observation, afin que les yeux fussent plus impressionnables par les faibles rayons émanés des matières phosphorescentes.

Les résultats suivants ont été obtenus en comparant les intensités lumineuses des différentes matières phosphorescentes renfermées dans des tubes de verre, et, autant que l'on a pu en juger à la vue simple, par la comparaison des effets produits dans différents tubes. On indique ci-après les matières sur lesquelles on a opéré, ainsi que la couleur de la lumière émise immédiatement après l'action solaire, et l'ordre d'intensité de la lumière émise après cette insolation : le n° 1 indique la substance la plus lumineuse, le n° 2 celle qui l'est un peu moins, etc. On a eu :

Sulfure de calcium vert (préparation n° 4, page 231).. lumière verte-bleuâtre. n° 1.
 Sulfure de strontium vert (préparation n° 3, page 236).. lumière verte..... n° 1.
 Sulfure de barium vert (préparation n° 4, page 239).. lumière verte-jaunâtre. n° 2.
 Sulfure de barium (préparation n° 2, page 239)..... lumière jaune-orangée. n° 3.
 Sulfure de strontium violet (préparation, n° page 236).. lumière violette-indigo. n° 4.
 Sulfure de strontium jaune (préparation, n° page 236)... lumière jaune..... n° 4.
 Sulfure de calcium (préparation n° 1, page 231)..... lumière rouge-orangée. n° 5.
 Sulfure de calcium (préparation n° 6, page 231)..... lumière violette..... n° 5.

Ainsi, immédiatement après l'influence solaire les deux premiers phosphores sont aussi lumineux l'un que l'autre et plus que tous les autres; puis viennent successivement les autres préparations.

Trois minutes après l'ordre n'est pas changé, mais la dernière préparation donne une lumière à peine appréciable.

Dix minutes après le commencement de l'expérience les deux premiers phosphores sont encore également lumineux, le troisième l'est un peu moins. Tous les autres, sauf le dernier, viennent ensuite, et présentent à peu près la même intensité, sans que la couleur de la lumière émise soit distincte; le dernier n'est plus visible.

Vingt minutes après, le sulfure de barium jaune-orangé et le sulfure de calcium rouge-orangé sont très-faibles, et à peine visibles une heure après; l'on a alors :

Sulfure de calcium vert,	après 1 h. (n° 1),	après 2 h. (n° 1),	après 3 h. (n° 1).
Sulfure de strontium vert,	id. (n° 1),	id. (n° 1),	id. (n° 1).
Sulfure de barium vert,	id. (n° 2),	id. (n° 2),	id. (n° 2).
Sulfure de strontium violet,	id. (n° 3),	id. à peine visible,	id. insensible.
Sulfure de strontium jaune,	id. (n° 3),	id. (n° 3),	id. (n° 3).

après cinq heures, sept heures, vingt heures et trente heures, on n'a plus que quatre phosphores visibles; on a :

Sulfure de calcium vert,	après 5 h. (n° 1),	après 7 h. (n° 1),	après 20 h. (n° 1),	après 30 h. (n° 1).
Sulfure de strontium vert,	id. (n° 1),	id. (n° 1),	id. (n° 1),	id. (n° 1).
Sulfure de barium vert,	id. (n° 2),	id. (n° 2),	id. insensible,	id. insensible.
Sulfure de strontium jaune,	id. (n° 2),	id. (n° 2),	id. (n° 2),	après 30 h. à peine visible.

Après dix minutes d'action, les différences de teinte de ces divers phosphores qui sont si brillants immédiatement après l'action solaire sont difficiles à distinguer; après vingt minutes elles sont impossibles à saisir.

Ces résultats mettent en évidence plusieurs faits curieux : on remarque que trois des sulfures sont encore visibles après trente heures dans l'obscurité, ce qui dénote une émission très-lente de lumière; mais le sulfure de strontium jaune, qui immédiatement après l'action solaire était peu phosphorescent et ne se trouvait qu'au quatrième rang, a conservé après trente heures une action sensible, tandis que le sulfure de barium vert était éteint après une heure, et le sulfure vert de la même base, qui luit si vivement dans les premiers instants, n'offrait plus aucune action après vingt heures. Quant au sulfure de calcium rouge, il ne donnait plus aucune phosphorescence après une heure, et le phosphore violet, quoique lumineux à peu près de même intensité que le sulfure jaune de strontium, ne luisait plus après dix minutes, tandis que ce dernier était encore lumineux après trente heures.

On voit que l'intensité primitive de la phosphorescence n'est pas en rapport avec la durée de l'émission lumineuse, et que des corps qui sont peu phosphorescents peuvent continuer à luire pendant longtemps. Ces dernières substances, qui sont dans le même cas que la chlorophane et le diamant, ont une grande capacité pour la phosphorescence, si l'on peut s'exprimer ainsi, c'est-à-dire une élasticité plus grande par rapport aux vibrations lumineuses.

Les résultats précédents ont été obtenus à la température de 16 degrés. Il faut avoir soin, pendant l'expérience, de laisser les corps à la même température, car en les échauffant, après avoir été insolés, ils deviennent très-lumineux, mais ils cessent rapidement de l'être; en effet, ils sont capables que d'émettre des rayons correspondant à une certaine somme de vibrations lumineuses, qui est la même pour un même corps, comme on l'a expliqué dans le livre III, page 52.

§ 2. *Durée de la persistance de l'impression lumineuse sur les corps ; phosphroscope.*

On a pu voir, d'après les effets dont il a été question jusqu'ici, que ce n'est que dans les cas très-particuliers où les corps présentent une persistance assez grande dans l'impression exercée sur eux par la lumière que les phénomènes de phosphorescence peuvent être observés. C'est qu'après être arrivé à la construction d'un appareil que j'ai nommé *phosphroscope* que j'ai pu reconnaître, non-seulement que le phénomène de phosphorescence était beaucoup plus général qu'on ne le pensait, mais encore à préciser les conditions dans lesquelles il se produit. Dans cet appareil en effet les corps sont vus par l'observateur après extinction de la lumière, de façon que le temps qui sépare le moment de l'observation de celui de l'action lumineuse est aussi court que l'on veut, et peut être mesuré; en outre, les effets lumineux sont rendus con-

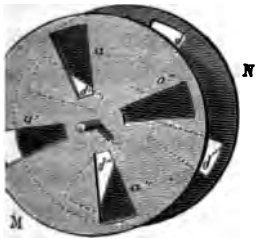


Fig. 29.

Cet appareil est fondé sur le principe suivant : Qu'on imagine au milieu d'une chambre noire deux disques verticaux M et N, fig. 29, fixés d'une manière permanente à un axe horizontal, à peu de distance l'un de l'autre (1 centimètre environ), et pouvant recevoir un mouvement de rotation autour de cet axe. Supposons que le premier disque M porte quatre ouvertures a, a', a'', a''' , de $30'$ de grandeur angulaire et placées symétriquement autour du centre, et que le second disque N porte également quatre ouvertures semblables b, b', b'', b''' , mais ne correspondant pas aux quatre précédentes, de sorte que chaque espace vide a, a', a'', a''' , soit en regard un espace plein du second disque, et *vice versa*. Si l'on dirige d'une

manière fixe un faisceau de rayons solaires sur le disque antérieur M, perpendiculairement à ce disque et près de la circonférence, ce faisceau ne pénétrera de l'autre côté que si l'une des ouvertures a , a' , a'' , a''' , se trouve dans la direction de ce faisceau; mais dans ce cas il sera arrêté par l'autre disque. En donnant donc un mouvement de rotation au système des deux disques autour de leur axe commun, jamais le faisceau lumineux ne pourra le traverser, car il faudrait arriver à une vitesse telle que la lumière pût passer d'un disque à un autre pendant la durée de la rotation de la moitié d'un intervalle plein, ce qui, avec la vitesse connue de la lumière, ne serait atteint que par un mouvement de rotation de plus de deux milliards de tours par seconde; or, on ne peut guère dans ces appareils aller au delà d'une vitesse de quatre à cinq cents tours par seconde. Ainsi, ce système des deux disques M et N, interposé entre un observateur et le volet d'une chambre noire par où arrive le faisceau lumineux sur le disque antérieur, fera l'effet d'un écran opaque dans toute son étendue.

Mais si entre les deux disques on place un corps dans une position fixe et dans la direction du faisceau lumineux, ce corps pourra recevoir de la lumière chaque fois que, par le mouvement de rotation, une ouverture du premier disque M passera entre lui et la source lumineuse. Si alors ce corps devient actif et émet, après l'insolation, des rayons en vertu de son action propre, si en outre cette émission présente une certaine durée, l'observateur placé de l'autre côté, au delà de N, verra le corps chaque fois qu'une ouverture de ce second disque N passera entre lui et le corps. Il faut, bien entendu, que le mouvement de rotation soit tel que la durée de l'émission lumineuse du corps en vertu de son action propre soit plus grande que celle du passage de la moitié d'un espace plein des disques devant l'observateur.

L'appareil suivant réalise cette disposition, et permet de voir les corps d'une manière continue après l'impression de la lumière et en vertu de leur action propre, en éliminant toute trace de lumière incidente, même quand la durée de l'impression de la lumière n'est que de $\frac{1}{3000}$ de seconde.

MN, fig. 30, est une boîte cylindrique de 10 centimètres de diamètre environ, fixée sur un montant en fonte et pouvant se placer dans une position quelconque. Cette boîte renferme un système de deux disques mobiles percés d'ouvertures, et analogue à celui qui vient d'être dé-

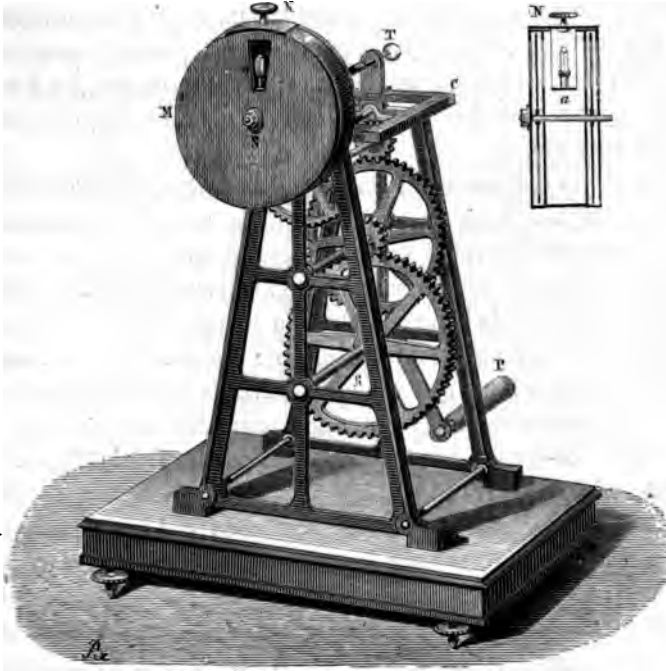


Fig. 30.

plus haut fig. 29. Cette boîte a ses faces à double fond, comme on le voit dans la coupe de la boîte figurée à côté de l'appareil, de sorte que chacun des disques peut se mouvoir entre deux plaques métalliques passant très-près de leur surface. Les faces de cette boîte, à l'intérieur comme à l'extérieur, sont percées d'ouvertures qui se correspondent exactement et qui ont même grandeur angulaire que les ouvertures des disques mobiles intérieurs. Si donc ces disques mobiles n'étaient pas, la lumière venant à tomber sur la partie antérieure MN traverserait la boîte de part en part; mais du moment que les disques mobiles se trouvent dans l'intérieur, la lumière incidente ne peut plus passer, et l'appareil fonctionne pour permettre l'observation des effets de phosphorescence comme cela a été dit plus haut. Les deux disques mobiles reçoivent leur mouvement dans la boîte MN, à l'aide d'un axe ST. Cet axe, au moyen d'engrenages, est mis en rotation à l'aide d'une manivelle P, ou bien d'un ressort, ou encore d'un tambour monté sur l'axe de la grande roue R et autour duquel

s'enroule une corde tirée par un poids. Dans l'appareil dont j'ai fait le plus souvent usage, quand le grand axe fait un tour, l'axe du dernier mobile fait 143 révolutions. On ne peut, du reste, avec la manivelle P faire au delà de 3 à 4 tours par seconde; par conséquent les disques mobiles ne peuvent guère exécuter au delà de quatre à cinq cents révolutions par seconde.

Le corps *a*, qui doit recevoir l'action de la lumière, est placé dans un étrier qui s'adapte à la partie supérieure de la boîte MN, et au moyen duquel il se trouve interposé entre les deux disques. On pourrait également le fixer sur une tige passant à frottement au travers d'une plaque adaptée sur le côté de la boîte à l'aide d'un bouton.

Afin que lors du mouvement des disques mobiles il n'y ait aucune trace de lumière diffuse qui vienne entraver la marche des observations, il est nécessaire que la dimension angulaire des parties pleines de ces disques soit égale à trois fois celle des parties vides; d'après cela, les ouvertures doivent être en nombre pair. Les appareils dont les disques mobiles ont 4 ouvertures de 22° 30' sont ceux qui m'ont donné les meilleurs résultats, surtout pour les expériences dont il sera question plus loin. On a construit des appareils du même genre avec des ouvertures différentes de grandeur, soit pour les expériences de démonstration dans les cours publics, soit en vue d'effets spéciaux produits sur différentes classes de substances (1).

Une étude attentive de l'emploi du phosphoroscope m'a montré que lorsque l'axe de cet appareil est en mouvement le corps impressionnable placé au milieu n'est éclairé par la lumière incidente que pendant une série d'intervalles de temps très-courts dont la mesure est la durée du passage d'une ouverture des disques mobiles: d'après la largeur angulaire des ouvertures de l'appareil décrit plus haut (22° 30', les intervalles pleins ayant 67 30'), quand le grand axe fait un tour en une seconde la roue des disques en faisant 143, le temps du passage d'une ouverture est de $\frac{1}{143 \times 16} = \frac{1}{2288}$ ou de 0'',00044.

Ainsi, suivant la vitesse du phosphoroscope, le corps reçoit une série d'éclairements successifs pendant des temps très-courts et bien déterminés. Le temps qui sépare le moment où l'insolation cesse de l'instant où l'observateur voit le corps au milieu de l'ouverture, et que je

(1) *Ann. de chimie et de phys.*, 3^e série, t. 62, p. 8 et suivantes.

mmèrai *temps moyen*, est représenté par la vitesse d'un point parcourant un arc égal à la moitié d'un espace obscur ou de $33^{\circ} 43'$; il est de les $\frac{2}{3}$ de la fraction indiquée plus haut, c'est-à-dire que pour une seconde du temps de la rotation du grand axe ce temps moyen est de 00066.

Quand un corps devient visible dans le phosphroscope, l'observateur reçoit donc l'impression lumineuse qui s'est conservée après ce premier temps, et cela en totalité pendant les passages de chaque ouverture; ces passages étant successifs, l'effet lumineux est rendu continu. Mais si avec une vitesse déterminée V du grand axe de l'appareil on voit le corps lumineux et que l'on mesure l'intensité de la lumière produite par ce corps, cette intensité peut être considérée comme représentant celle de la lumière émise après une insolation qui a duré $\frac{1}{15}$ et alors que le corps est vu, en moyenne, $\frac{V''}{4530}$ après cette insolation.

On suppose, bien entendu, que la durée du passage d'une ouverture suffit pour insoler le corps: cela est vrai pour un certain nombre de substances, quand l'intensité de la lumière excitatrice est suffisante; pour d'autres, comme on le verra plus loin, et notamment pour les corps qui conservent pendant assez longtemps l'impression de la lumière, et que l'on a nommés phosphores artificiels, une seule insolation ne donne pas le maximum d'effet, surtout avec une faible intensité lumineuse excitatrice; mais le passage successif des ouvertures conduit au même résultat, et donne au corps le maximum d'effet qu'il est capable de recevoir, et qui est atteint au bout d'un temps assez court. C'est pour ce motif qu'avec ces derniers corps, sauf des exceptions dont il sera question plus loin, les intensités lumineuses sont indépendantes de la vitesse de rotation du phosphroscope entre les limites où j'ai expérimenté. Afin de diminuer le temps nécessaire pour que le corps ait le maximum d'effet et soit inférieur à la durée de passage d'une ouverture du disque mobile de l'appareil devant l'observateur, il faut donc augmenter le plus possible l'intensité de la lumière incidente, c'est-à-dire concentrer cette lumière avec une lentille.

On voit en résumé, d'après ce qui précède, que si un très-grand nombre de corps deviennent lumineux dans l'appareil, l'effet produit devant un observateur est continu, car l'impression que ces corps reçoivent de la part du rayonnement se reproduit périodiquement chaque

fois qu'une ouverture du disque antérieur mobile passe devant eux. résulte également de là que pour une vitesse de rotation uniforme l'intensité de la lumière émise reste la même si celle de la lumière incidente ne change pas, et que cette intensité dépend de la vitesse de rotation elle-même. Il faut encore remarquer, et j'insiste sur ce point, que l'intensité de la lumière émise augmente avec la vitesse de rotation jusqu'à une certaine limite, différente pour chaque corps, et atteint un maximum que l'on ne peut dépasser, quelle que soit ultérieurement la vitesse de l'appareil; ce dernier effet provient de ce que si le temps qui sépare le moment de l'insolation de l'instant de la vision devient de plus en plus court, le temps pendant lequel le corps est éclairé diminue dans le même rapport, et lorsque le corps reçoit de la part de la lumière incidente autant qu'il perd pendant qu'il n'est plus soumis à son action, le maximum est atteint.

On peut aisément, à l'aide de différents corps, donner des exemples des effets précédents, c'est-à-dire de l'intensité lumineuse constante avec une vitesse de rotation constante du phosphroscope, de l'augmentation de cette intensité quand on fait tourner l'appareil plus rapidement, et de l'établissement du maximum d'action.

Le spath d'Islande excité par la lumière solaire blanche ou par la lumière électrique devient lumineux orangé avec une vitesse très-petite de l'appareil; puis le maximum de lumière est atteint très-vite. En effet, le corps une fois insolé n'émet plus de lumière d'une manière appréciable un tiers de seconde après avoir été soumis à l'action de la lumière. Parmi les variétés de spath d'Islande les plus lumineuses on peut citer les spaths équiaux et surtout les variétés prismatiques.

Le verre ordinaire crown ou flint placé dans les mêmes conditions donne une lumière verdâtre plus ou moins vive : le maximum est atteint avec une vitesse un peu plus grande qu'en employant le spath d'Islande, car ce n'est qu'après un vingtième de seconde environ que les rayons émis ne sont plus appréciables.

L'alumine (coryndon ou alumine calcinée) présente une lumière d'un beau rouge; après un vingtième de seconde les rayons émis ne sont plus perceptibles. Les rubis sont les variétés de coryndon qui présentent les effets les plus énergiques.

L'azotate d'urane donne une lumière verte qui devient très-vive quand on tourne très-rapidement l'appareil, car ce n'est que lorsqu'il se passe plus d'un centième de seconde entre le moment où l'insolation cesse et

l'instant de la vision, que les rayons émis par le corps ne peuvent plus être perçus par l'observateur.

Du reste, plusieurs platino-cyanures ne donnent plus d'effets appréciables après $\frac{1}{3000}$ ou $\frac{1}{4000}$ de seconde, et le bisulfate de quinine présente une limite encore plus reculée. On ne fait que citer ici plusieurs exemples, car un grand nombre de corps seront étudiés plus loin en détail.

Ainsi le phosphroscope résout le problème de faire voir un corps au moyen de la lumière émise en vertu de son action propre et après l'influence du rayonnement, et non pas en vertu des rayons diffusés de la lumière incidente; il tamise pour ainsi dire la lumière qu'un corps peut émettre, quand ce corps reçoit un faisceau lumineux sur sa surface. Cet effet est produit en raison de ce que l'émission lumineuse, par action propre des corps, offre une certaine durée.

Dans l'appareil qui a été décrit plus haut, le corps est vu par transparence du côté opposé à celui par lequel la lumière incidente vient le frapper; quand le corps a une petite épaisseur cela est indifférent, même quand il est presque opaque. Il est facile de comprendre qu'à l'aide d'un semblable principe on a pu construire des appareils de diverses formes et même dans lesquels le corps est du côté par lequel la lumière extérieure vient l'influencer (1).

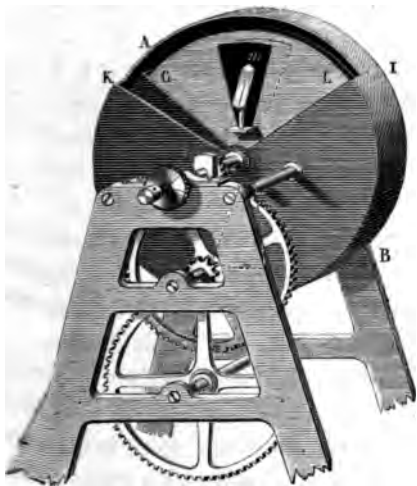


Fig. 31.

Je citerai encore un phosphroscope qui présente assez de différence avec les précédents pour qu'il soit nécessaire d'indiquer comment il est construit : La fig. 31 représente la partie supérieure de l'instrument, la partie inférieure comprenant les rouages disposés à peu près de la même manière que dans l'appareil décrit plus haut.

Le disque mobile placé du côté de la lumière incidente, n'a qu'une seule ouverture de 30°, au lieu de quatre ouvertures comme précédemment; dans la figure

(1) Voir à ce sujet *Annales de physique et de chimie*, 3^e série, t. 55, p. 80, et t. 57 et 62.

elle est représentée en pointillé à la base de la boîte, en face des rouages. Le disque situé du côté de l'observateur, en avant de la figure, a une ouverture C de 120° , mais sur le bord il est soudé à une partie cylindrique laquelle, dans son mouvement de rotation, passe près du fond de la boîte et empêche que le corps m , éclairé par les rayons actifs, ne soit vu dans la chambre noire au moment de l'influence de la lumière.

D'après cette disposition, la boîte AB, essentiellement fixe, est formée du côté opposé à l'observateur par deux plaques circulaires de 12 centimètres de diamètre, entre lesquelles peut se mouvoir le disque mobile. Un tube en cuivre, soudé à cette boîte, et qui n'est pas représenté ici, sert à éliminer les rayons de lumière diffuse dont il est nécessaire de se garantir. Deux ouvertures angulaires de 30° chacune sont pratiquées en face du tube et du corps m , de façon à permettre à la lumière d'impressionner le corps à un moment donné. Ce corps, du reste, se trouve soutenu par un petit support fixé dans l'intérieur de la boîte. La boîte AB est ouverte à sa partie supérieure; le disque fixe qui est tourné du côté de l'observateur ayant une ouverture KHI représentant un angle au centre de 120° , et la partie cylindrique qui enveloppe la boîte étant également coupée dans toute l'étendue comprise dans cet espace, le corps m se trouve donc à découvert au moment où il brille en vertu de son action propre, et on peut l'observer en avant et dans différentes directions autour de lui.

Quand l'appareil est en rotation, l'intervalle vide provenant de l'ouverture faite dans la partie mobile pourrait occasionner un déplacement de l'axe de rotation; il est facile de s'opposer à cet effet à l'aide d'un contre-poids P, d'une épaisseur suffisante, dont on règle les dimensions par des essais préliminaires.

La disposition de cet appareil ne permet pas à l'observateur, avec la même vitesse de l'axe, de percevoir les impressions lumineuses dans les mêmes conditions qu'avec les appareils précédents, car il n'y a qu'une seule ouverture dans le disque mobile, au lieu de quatre, et il est nécessaire que la vitesse de rotation soit quatre fois plus grande qu'avec l'appareil décrit plus haut.

Il est facile d'évaluer au reste quel est le temps moyen qui sépare l'instant de l'insolation du moment de la vision du corps dans ce phosphoroscope: comme l'axe du dernier mobile fait 180 tours quand la manivelle en fait 1, le temps du passage d'une ouverture est de

$$V \cdot \frac{1}{180} \cdot \frac{30}{360} = \frac{V}{2160};$$

ce corps est donc vu après l'insolation au bout d'un temps moyen mesuré par

$$V \cdot \frac{1}{180} \cdot \frac{165}{360} = V \cdot 0",002546$$

V étant la vitesse de rotation du grand axe.

Ce phosphoroscope, mettant le corps à découvert au moment où celui-ci est lumineux par lui-même, permet à un certain nombre de personnes placées autour de l'appareil d'être témoins des effets. Un modèle de ce genre se trouve dans les galeries du Conservatoire impérial des arts et métiers.

J'ai fait construire un appareil analogue à celui qui est représenté fig. 30, p. 249, mais dont les ouvertures très-étroites des disques mobiles, ainsi que celles de la boîte, n'ont que 2°, et les espaces pleins 7°; il y a donc 40 ouvertures dans chaque disque. La vitesse du grand axe étant représentée par V, le temps du passage d'une ouverture est

$$V \cdot \frac{1}{143} \cdot \frac{2}{360} = V \cdot \frac{1}{25740};$$

Quant au corps placé entre les deux disques, il n'est vu après l'insolation qu'au bout d'un temps moyen représenté par

$$V \cdot \frac{1}{143} \cdot \frac{3,5}{360} = V \cdot \frac{1}{14710}.$$

Comme on peut facilement faire exécuter à la manivelle deux et trois tours par seconde, on voit que le temps qui sépare l'insolation de la vision pourrait être de $\frac{1}{30000}$ à $\frac{1}{40000}$ de seconde ou de 25 à 30 millièmes de seconde. Mais je n'ai pas trouvé que cet appareil pût être employé aussi avantageusement que les précédents. Il est vrai qu'on arrive, avec une faible vitesse du grand axe, à avoir le maximum d'intensité lumineuse que peuvent présenter la plupart des corps impressionnables, mais on n'augmente pas le nombre des substances que l'on peut observer avec les autres instruments; on est obligé de leur donner

une dimension en largeur très-étroite, et ensuite pour pouvoir concentrer une assez grande quantité de lumière sur leur surface il aurait été nécessaire d'avoir une lentille à plus court foyer que celle dont j'ai fait usage et une autre disposition de la boîte fixée à la chambre noire où les expériences ont été faites; aussi ai-je préféré l'emploi du premier phosphoroscope représenté fig. 30, page 249.

Je me suis également servi d'un appareil formé d'un cylindre vertical de 5 centimètres de hauteur sur 3 centimètres de diamètre, mobile autour de son axe et placé concentriquement dans un cylindre fixe, de façon à ce que une distance très-petite les sépare l'un de l'autre; ce cylindre mobile intérieur peut d'ailleurs recevoir sur sa surface une bande de papier enduit de matières impressionnables.

Dans le cylindre extérieur fixe, constituant une sorte d'enveloppe, se trouvent deux ouvertures de 1 centimètre de largeur sur 3 de hauteur, l'une du côté de la lumière incidente, l'autre dans la chambre noire et tournée vers l'observateur. Du reste, un large écran percé à son centre d'une ouverture, est fixé au cylindre, de sorte que la matière impressionnable adhérente à la bande de papier qui entoure le cylindre mobile ne peut recevoir de lumière que par l'ouverture opposée. Un fort mouvement d'horlogerie met en rotation le cylindre avec une vitesse qui peut être modifiée à l'aide d'un régulateur dont on incline plus ou moins les ailettes.

Au moyen de cette disposition, la lumière incidente ne peut traverser le système des cylindres concentriques; mais en donnant un mouvement de rotation au cylindre intérieur, à partir d'une certaine vitesse, la persistance des impressions lumineuses sur les matières placées sur le papier fixé à la surface de ce cylindre permet à l'observateur de recevoir une impression lumineuse qui est d'autant plus vive que la vitesse de rotation est plus grande.

On verra, par la suite, dans quelles circonstances chacun des appareils précédents a été employé.

§ 3. *Substances impressionnables diverses, visibles dans le phosphoroscope.*

Si l'on s'en tient à une faible émission de lumière, un très-grand nombre de corps deviennent lumineux dans le phosphoroscope quand ils sont éclairés fortement par la lumière solaire ou électrique concentrée avec une lentille. Non-seulement les matières phosphorescentes

dont on a parlé dans les deux premiers chapitres de ce livre donnent lieu à une émission de lumière, mais encore beaucoup d'autres composés. Parmi les corps simples, indépendamment du carbone à l'état de diamant, on peut citer le soufre comme donnant un effet assez faible; la lueur que le phosphore émet quand il est dans l'air, ne m'a pas permis de reconnaître s'il était lumineux par insolation; du reste, en tous cas, l'effet produit ne pourrait être que très-faible, car cette lueur ne paraît pas augmenter quand le corps est dans le phosphoroscope. Les métaux n'ont présenté jusqu'ici aucune action appréciable.

Les bases alcalines et alcalino-terreuses ainsi que les terres et plusieurs de leurs combinaisons, sont les corps qui offrent en général les actions les plus vives. La potasse, la soude, ainsi que les chlorures, bromures, iodures de potassium et de sodium, et les sulfates, silicates, etc., de potasse et de soude donnent des effets marqués; quant aux bases alcalino-terreuses et à leurs combinaisons, elles présentent des effets parfois très-intenses. On peut citer, indépendamment des chlorures, nitrates, sulfates de chaux, de baryte et de strontiane, ceux qui renferment un acide organique comme les tartrates, formiates, citrates, ou bien les corps à base de cyanogène, etc. L'oxamate de baryte donne une teinte blanche-verdâtre, et dans les rayons ultra-violetts une émission lumineuse assez vive de même nuance. La mellite donne également une teinte verte assez brillante.

La magnésic, le carbonate et le sulfate de la même base, le carbonate de glucine, le zircon, donnent dans le phosphoroscope une émission de lumière.

Parmi les corps dont l'action est des plus vives, on peut citer l'alumine ainsi que plusieurs de ses combinaisons. Cette matière est d'autant plus intéressante à examiner qu'on peut l'obtenir amorphe, cristallisée, puis combinée de manière à jouer le rôle d'acide ou de base; plus loin les effets auxquels elle donne lieu seront étudiés en détail.

Quant à la silice, elle ne manifeste aucune action, à moins qu'elle ne soit à l'état de quartz résinite, et il est possible qu'en raison de cela un très-grand nombre de minéraux dans la composition desquels elle entre ne possèdent aucun pouvoir lumineux appréciable par les moyens mis en usage jusqu'ici. D'un autre côté, dans ses combinaisons elle laisse prédominer l'effet des bases qui se trouvent combinées avec elle. Il est très-remarquable de voir que des deux substances solides les plus répandues à la surface de la terre, l'alumine et la silice, l'une

offre une action très-énergique, l'autre ne présente d'effets que dans des circonstances spéciales.

Les substances organiques et les composés à base organique sont pour ainsi dire presque tous lumineux, quoique les effets qu'ils présentent soient de faible intensité; cependant, la durée de la persistance des impressions lumineuses est assez étendue : on peut citer parmi ces matières les alcalis végétaux, les substances comme le sucre, la mannite, la salicine, l'asparagine, la dulcine, l'orcine, etc., les acides tartrique, citrique, benzoïque, stéarique, succinique, etc. Néanmoins, avec quelques groupes de ces corps on observe une disposition moléculaire spéciale d'après laquelle il y a persistance très-courte de l'effet lumineux et non appréciable au phosphoroscope dont je me suis servi : tels sont le bisulfate et le bitartrate de quinine, la dissolution végétale de chlorophylle, d'esculine, quelques platino-cyanures, etc.

Les sels métalliques sont en général très-peu actifs, et quand ils le sont, l'effet qu'ils manifestent est très-faible. Je citerai néanmoins parmi ceux qui donnent une émission de lumière, indépendamment du sulfure de zinc (blende-hexagonale) dont il a été question précédemment, page 270, l'acide arsénieux, le nitrate d'argent, les sulfate et acétate de cadmium, le nitrate de plomb, le cyanoferrure de potassium, etc. Quant aux composés d'uranium, ils donnent lieu à des effets d'une grande intensité, mais de courte durée, dont il sera question dans un des paragraphes suivants.

Il faut observer que l'émission de lumière dans l'appareil est nécessairement limitée à la sensibilité de la rétine, à l'intensité des rayons actifs et à une certaine durée de persistance de l'impression lumineuse. Cette durée ne peut être représentée par un temps déterminé que relativement aux effets appréciables à nos yeux, car les corps, même quand ils ne sont pas visibles, pourraient continuer cependant après l'action lumineuse à émettre des rayons qui ne seraient plus sensibles; dans ce cas, en augmentant l'intensité des rayons actifs on augmenterait la durée de la persistance ainsi que l'intensité des effets, et il est probable que l'on augmenterait la liste des matières lumineuses après l'action du rayonnement. De même, on peut supposer que certaines matières qui ne commencent à apparaître qu'avec une vitesse de rotation assez grande du phosphoroscope deviendraient visibles en faisant usage d'un appareil dont les disques tourneraient plus rapidement encore.

D'un autre côté, même si les corps ne sont pas lumineux dans le phosphoroscope, on ne peut dire qu'il n'existe aucun effet après l'action du rayonnement; car la lumière pourrait exciter des vibrations d'une autre vitesse que celles qui sont perceptibles à nos yeux (et en général plus lentes), et capables de donner lieu soit à des effets de chaleur, soit à d'autres actions moléculaires encore inconnues.

L'influence de l'état moléculaire de chaque corps sur les effets produits est quelquefois plus grande que celle qui provient de leur nature; les observations faites à l'aide des sulfures alcalino-terreux, et rapportées dans les deux premiers chapitres, avaient déjà conduit à cette conclusion; cependant, on ne peut formuler aucune loi générale à cet égard.

D'abord, en ce qui concerne la fusion, j'ai déjà signalé les effets observés avec le chlorure de calcium et avec le nitrate de chaux fondus ou avant la fusion. D'autres substances montrent que tantôt l'effet lumineux est augmenté, tantôt il est diminué, tantôt enfin il n'est pas changé. L'acide borique en paillettes est assez vivement lumineux avec une teinte bleu-verdâtre; si on fond cette substance une fois revenue à la température ordinaire, elle est jaune dans le phosphoroscope avec une intensité presque aussi grande, mais la composition de la lumière émise est différente. Le sulfate neutre de quinine donne une teinte jaune faible quand il est en petits cristaux; lorsque cette substance est fondue, elle donne une masse un peu brune et très-lumineuse avec une teinte jaune. Le borax, le phosphate acide de chaux sont dans le même cas: cristallisés, ils sont faiblement lumineux; fondus, ils offrent une lumière jaunâtre qui est très-vive, surtout avec le second corps. Le sucre blanc en grains cristallins est faiblement lumineux avec une teinte verdâtre; fondu, l'émission lumineuse est plus vive, et sa teinte devient jaunâtre. Quant à l'alumine, comme on le verra plus loin, amorphe ou cristallisée elle donne lieu aux mêmes effets.

L'acide arsénieux se présente sous deux états moléculaires différents: vitreux ou opaque. En prenant des fragments d'un même morceau, j'ai trouvé sensiblement le même effet pour les deux états de ce même corps. Du reste, dans le cours de ce travail on verra comment l'état moléculaire de chaque corps peut modifier les effets observés.

Dans certains cas les effets de phosphorescence par insolation sont analogues à ceux que l'on peut obtenir par élévation de température par frottement ou par percussion, mais dans d'autres il en sont tout

à fait indépendants. On a déjà parlé de ce résultat page 37. On peut à cette occasion citer le fluorure de calcium, qui après avoir été porté préalablement à la température rouge perd la propriété de donner une émission de lumière par la chaleur, en conservant le pouvoir d'être impressionné par le rayonnement solaire; d'un autre côté, si la dolomie et la chaux phosphatée donnent des lueurs analogues par le frottement et dans le phosphroscope, le quartz, qui est très-lumineux par percussion, ou bien quand on le frotte, ne donne en général aucune émission lumineuse sous l'influence de la lumière quand il est bien transparent.

§ 4. *Intensité maximum de la lumière émise par un corps pour une intensité lumineuse incidente déterminée.*

Lorsqu'un corps impressionnable est soumis à l'action de la lumière, il devient actif et rayonne comme il le fait au moment où on le rentre subitement dans l'obscurité; seulement, l'intensité de la lumière émise étant toujours une fraction très-petite de celle de la lumière incidente, il est difficile sous l'influence de celle-ci, sauf dans des cas spéciaux, de distinguer l'effet dû au rayonnement émané du corps de celui qui résulte de la réflexion régulière ou irrégulière de la lumière.

Il est évident que l'intensité de la lumière que le corps peut émettre en vertu de son action propre augmente graduellement depuis le moment où la lumière vient le frapper pendant un temps qui doit être très-court, et atteint un maximum qui ne peut être dépassé pour une intensité déterminée. Ce maximum est atteint lorsque la vitesse avec laquelle le corps reçoit l'impression lumineuse est la même que celle avec laquelle il la perd par rayonnement. On ne connaît pas *à priori* la loi qui règle cette illumination du corps ainsi que celle de la déperdition de la lumière, de sorte que l'on ne peut déterminer ce temps; mais on démontre aisément par expérience l'établissement d'un maximum d'action. S'il s'agit des sulfures alcalino-terreux, il suffit d'introduire un faisceau de rayons solaires dans une chambre noire et de projeter ce faisceau sur un fragment d'un corps phosphorescent; on reconnaît alors qu'après une action plus ou moins longue le fragment présente dans les différents cas la même intensité lumineuse à l'instant où l'on cesse de l'éclairer.

L'emploi du phosphroscope conduit également à l'observation d'un maximum lumineux; pour cela, l'on place dans l'appareil à quatre ou-

ertures décrit plus haut, page 248, et représenté fig. 30, un fragment d'un corps comme le spath d'Islande, l'aluminate de magnésic, l'alumine, le verre ordinaire, l'azotate d'urane, etc., et l'on dirige sur ce fragment le tube latéral CD du photomètre décrit antérieurement page 74, fig. 3, afin de comparer l'intensité de la lumière émise à celle de la lampe vue au moyen de l'autre tube AB du photomètre. On fixe devant l'objectif de ce dernier un verre coloré convenablement choisi, pour que les deux images à comparer aient la même teinte.

Si l'on met alors le phosphoroscope en rotation, en augmentant graduellement la vitesse de cet appareil, on reconnaît que l'intensité lumineuse avec le spath d'Islande reste la même, quelle que soit la vitesse de rotation; cependant en employant le phosphoroscope à une ouverture, si l'on tourne très-lentement le grand axe, l'intensité lumineuse est moindre. Cet effet montre néanmoins que dans le premier appareil au delà d'une certaine limite, relativement assez petite, l'intensité lumineuse augmente plus avec la vitesse de rotation.

Ce même appareil à quatre ouvertures, qui a servi aux recherches, dont il va être question, montre que l'intensité lumineuse du verre ordinaire augmente jusqu'à la vitesse de 1 tour du grand axe en 5 secondes, ou bien jusqu'à une persistance de $\frac{5}{1530}$ ou 0", 0033; avec une vitesse plus grande, c'est-à-dire pour une limite de persistance moindre, quelle que soit la vitesse de rotation du phosphoroscope, l'intensité de la lumière émise reste la même.

L'alumine présente le même effet que le spath d'Islande, mais en tournant plus rapidement le grand axe du phosphoroscope. Le verre d'urane et l'azotate d'urane donnent également un maximum, mais qui n'est atteint qu'à une limite dix fois plus reculée, qu'avec l'alumine. Le maximum paraît donc être atteint avec une vitesse d'autant moindre que les corps présentent une plus grande persistance des impressions lumineuses, et surtout pour ces derniers corps avec une vitesse d'autant plus petite que l'intensité de la lumière émise est plus faible. Ainsi, chaque corps présente un effet maximum dans le phosphoroscope, mais à partir d'une vitesse déterminée, qui est différente pour chacun d'eux et qui dépend de l'intensité lumineuse active; ce maximum est donc relatif au corps, à l'intensité lumineuse active et à l'appareil employé.

Quand on opère avec le spath d'Islande ou mieux avec la chaux carbonatée prismatique, qui est très-brillante, ou bien avec l'aluminate de

magnésie ou une substance qui offre une persistance assez grande, il semble qu'en tournant très-lentement la roue du phosphoroscope la substance paraisse plus brillante que lorsqu'on augmente la vitesse de rotation. En examinant le spath d'Islande orangé avec le photomètre, la différence n'est plus appréciable, et si l'intensité lumineuse paraît plus forte dans les premiers instants, cela ne peut être que d'une quantité qu'il n'est pas possible de mesurer; il est probable que cet effet provient d'une illusion due à ce que le phosphoroscope en tournant lentement ne laisse voir la matière que par intermittences, et de ce que cette succession d'éclats et d'intervalles obscurs fait paraître celle-ci plus lumineuse qu'au moment où l'impression devient continue.

On vient de dire que le maximum est atteint avec une vitesse d'autant moindre que la persistance de l'action de la lumière sur le corps est plus grande; cependant il y a des exceptions, dont il est facile de distinguer la cause: la chaux fluatée, le diamant, le sulfure de strontium lumineux vert, et d'autres corps, sont dans ce cas; ils offrent une persistance de longue durée, et ils augmentent d'intensité lumineuse avec la vitesse de l'appareil. Mais aussi ils présentent une émission de rayons de diverse réfrangibilité ayant des persistances inégales, et la plupart changent de couleur dans le phosphoroscope, comme on le verra dans le chapitre IV; la chaux fluatée (chlorophane verte) d'abord bleue passe à l'orangé, puis au vert, à mesure que la vitesse augmente; le diamant est jaune pour une faible vitesse, puis bleu avec une vitesse plus grande. Quant au sulfure de strontium vert (1), il n'offre point de changement de couleur, mais il présente cet exemple singulier d'un corps donnant lieu à une émission de différents rayons de même teinte, mais de durée inégale. Avec ces corps, le maximum n'est atteint dans le phosphoroscope qu'avec une vitesse assez grande et quand on a dépassé la limite qui va être indiquée plus loin, et qui est relative aux rayons émis dont la durée est la moindre.

Il semble donc, quand l'émission lumineuse des corps est de longue durée et qu'ils ne changent pas de nuance dans le phosphoroscope quelle que soit la vitesse de celui-ci, que ces corps soient dans des conditions régulières et ne donnent pas de rayons de même réfrangibilité et d'inégale persistance; quand le contraire a lieu, comme on le verra plus loin, la loi d'émission n'est plus la même.

(1) Voir *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. LV, p. 65 et 116.

L'intensité maximum observée dans le phosphoroscope peut être expliquée de la manière suivante : Le temps au bout duquel le corps placé dans le phosphoroscope acquiert son action maximum dépend non-seulement de l'intensité de la lumière incidente, mais encore de la capacité pour recevoir l'impression lumineuse et de son pouvoir absorbant. Si le corps n'offre qu'une persistance de peu de durée, le temps nécessaire pour l'impressionner sera aussi très-court, comme on expliquera dans le paragraphe suivant; quand on mettra en rotation le phosphoroscope, ce corps sera donc éclairé pendant un temps plus long que celui qui est nécessaire pour avoir le maximum d'effet, et l'intensité de la lumière reçue par l'observateur augmentera graduellement avec la vitesse de rotation de l'appareil, car l'image apparaîtra de façon que le temps qui sépare le moment de l'insolation de l'instant de la vision deviendra de plus en plus court. Mais au delà d'une certaine limite, qui est atteinte très-prompement avec les corps qui offrent une persistance assez longue, si le temps qui sépare le moment de l'insolation de celui de la vision devient plus petit, le temps de l'insolation diminue dans le même rapport; au moment du passage d'une ouverture de disque tourné du côté de la lumière incidente le corps n'a pas du tout l'effet produit par l'illumination précédente, et reçoit à ce nouveau passage une nouvelle impression; ainsi donc, lorsque le corps passera à chaque passage des ouvertures autant qu'il perdra pendant le passage de la moitié des espaces pleins des disques, c'est-à-dire pendant le passage nécessaire pour que l'observateur voie le corps, le maximum sera atteint. Comme l'intensité lumineuse n'augmente plus en elle-même, il en résulte que la loi qui règle la déperdition est la même que celle qui régit l'absorption de la lumière.

Il suit de là, si cette supposition est exacte, que si l'on pouvait déterminer à partir de quelle limite l'intensité lumineuse n'augmente plus, on aurait pour l'intensité lumineuse que l'on considère la limite du temps nécessaire pour donner le maximum d'effet à un corps qui est exposé à l'action de la lumière extérieure. Il n'est pas possible de déterminer cette limite d'une manière certaine, car lorsqu'on approche de celle-ci, les différences entre les intensités lumineuses deviennent inappréciables. On voit aussi, d'après la supposition précédente, que le maximum d'effet donné dans le phosphoroscope serait plus petit que celui que l'on obtiendrait si la lumière agissait sur le corps d'une manière continue pendant l'observation. Néanmoins, comme on

le verra dans le paragraphe suivant, si l'on connaît la loi de déperdition de la lumière, on peut arriver à évaluer l'effet maximum dont il s'agit.

Puisque l'on a un moyen, à l'aide du phosphoroscope, d'étudier l'action exercée de la part de la lumière sur un corps en arrivant à une vitesse telle que l'on observe le maximum d'action, il est nécessaire d'examiner comment avec la même substance l'intensité de la lumière émise varie, alors que l'intensité de la lumière incidente change entre des limites déterminées. Pour résoudre cette question, en avant du phosphoroscope et derrière l'ouverture du volet de la chambre noire (1), on a disposé une ouverture rectangulaire formée par la juxtaposition de deux plaques métalliques à faces parallèles; une des plaques est fixe, l'autre est mobile à l'aide d'une vis micrométrique, de sorte que la largeur de l'ouverture peut varier par centièmes de millimètre depuis zéro jusqu'à 60 millimètres. Il est évident que le faisceau de rayons lumineux réfléchis par l'héliostat a un volume qui dépend de la surface de l'ouverture qu'il traverse. Si l'on place une lentille derrière l'ouverture, et que le corps impressionnable placé dans le phosphoroscope soit au foyer de cette lentille, à ce foyer on recevra une image circulaire du disque solaire dont la dimension sera la même quelle que soit la largeur de l'ouverture; on voit donc que l'intensité de la lumière active incidente dans la partie illuminée du corps sera proportionnelle à la largeur de l'ouverture, c'est-à-dire à la distance des deux plaques. A l'aide de cette disposition très-simple, et en opérant assez rapidement pour que le faisceau incident se trouve dans les mêmes conditions d'intensité, on pourra faire varier dans le cours d'une même expérience l'intensité des rayons actifs entre des limites parfaitement déterminées.

On a opéré successivement en plaçant dans le phosphoroscope le charbonatée lumineuse orangée (qui donne le maximum d'effet pour la moindre vitesse de l'appareil), l'alumine (rubis) et le verre d'irane. La largeur de l'ouverture a été déterminée en tournant la vis micrométrique de l'écran, un tour équivalant à $\frac{1}{2}$ millimètre. On a placé successivement différents verres colorés au devant de l'oculaire du photomètre représenté fig. 3, pag. 74, afin d'avoir, avec la lampe Carcel servant de source lumineuse, les teintes orangées, rouges et vertes semblables à celles présentées par les matières impressionnables dans le phosphoroscope. On a eu :

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 57.

SUBSTANCES soumises à l'expérience.	LARGEUR L de l'ouverture traversée par les rayons solaires incidents.	LUMIÈRE ÉMISE DANS LE PHOSPHOSCOPE.		RAPPORT $\frac{S^2}{L}$ de l'intensité de la lumière émise à l'intensité de la lumière incidente.
		ANGLE du photo- mètre. (Le zero corres- pond au croisement des prismes de Nicol.)	SINUS CARRÉ S^2 , ou intensité lumineuse, le rayon étant 1.	
Carbonate de baux lumineux orangé.	tours mm	o		
	2 ou 1	2.35'	0,0020316	0,001016
	4	3.25	0,0035518	0,000888
	8	5. 0	0,0075962	0,000950
	16	7.10	0,0155640	0,000973
	24	9. 0	0,0244720	0,001020
	32	10 35	0,0337330	0,001054
	40	11.25	0,0391810	0,000980
48	13. 0	0,0506030	0,001054	
				Moy. 0,000992
lumine (rubis).	tour			
	1 ou 0 ^m ,5	14.35	0,0633970	0,063397
	4	29.40	0,0244980	0,061245
	8	51. 0	0,6039550	0,075494
	12	75.40	0,9387100	0,078226
	16	84.15	0,9899600	0,061875
				Moy. 0,068047
lumine (rubis).	1 tour	14.30	0,0626900	0,062690
	2	21.40	0,1363150	0,068157
	3	25 22.5	0,1836500	0,061216
	4	30. 0	0,2500000	0,062500
	6	42.30	0,4564200	0,076070
	8	48. 5	0,5537100	0,069213
				Moy. 0,066410
erre d'urane.	1 tour	10.10	0,031156	0,031156
	2	14.55	0,066262	0,033131
	4	22 35	0,147475	0,036869
	8	33. 0	0,296630	9,037080
	16	51.40	0,615310	0,038450
	32	77.10	0,950565	0,029690
				Moy. 0,034397

On reconnaît, à l'inspection de ce tableau, que les nombres inscrits dans la cinquième colonne, et qui sont les rapports entre l'intensité de la lumière émise et celle de la lumière incidente, sont sensiblement égaux. Avec le carbonate de chaux, les différences sont assez petites, avec les deux autres corps elles sont plus grandes; mais les rapports sont tantôt supérieurs, tantôt inférieurs à la moyenne. Ces différences tiennent probablement aux erreurs provenant de la méthode photométrique elle-même. Il résulte donc de là que l'intensité de la lumière émise par les substances impressionnables est proportionnelle à la largeur de l'ouverture par laquelle la lumière solaire pénètre dans la chambre obscure, c'est-à-dire à l'intensité de la lumière incidente dans les limites de 1 à 30 fois l'intensité primitive. Or, on a trouvé que les rayons solaires simplement réfléchis par l'héliostat et impressionnant directement les corps donnent une intensité $16\frac{1}{2}$ fois moins forte qu'avec une ouverture correspondante à 8 tours de la vis micrométrique ou à 4 millimètres de largeur, c'est-à-dire qu'ils produisent le même effet que les rayons solaires concentrés par la lentille et qui traversent une ouverture de $\frac{1}{4}$ de millimètre environ. Ainsi, dans les limites comprises entre 1 et 96 fois la lumière solaire concentrée au foyer d'une lentille (1), l'intensité de la lumière émise par les corps en vertu de leur action propre est proportionnelle à l'intensité de la lumière excitatrice.

J'ai essayé de démontrer également cette proportionnalité en plaçant successivement le phosphoroscope à différentes distances du foyer d'une lentille sur laquelle on a projeté un faisceau de rayons solaires parallèles; l'image circulaire reçue au delà de la lentille a une dimension d'autant moindre que l'on s'approche davantage du foyer, et il semble que l'intensité lumineuse puisse se déduire de la position du corps et de la grandeur de l'image circulaire dans laquelle se trouvent compris tous les rayons solaires incidents; mais les aberrations de sphéricité et de réfrangibilité de la lentille font que si la quantité totale de lumière est toujours la même, celle-ci se trouve distribuée inégalement et l'éclat lumineux de la partie centrale qui frappe le corps ne varie pas exactement en raison inverse du diamètre de l'image éclairée reçue au delà de la lentille. On ne peut donc pas

(1) La lentille employée était en crown, et avait 0^m,085 d'ouverture et 25 centimètres de distance focale.

prendre ces distances comme servant à comparer les intensités de la lumière incidente. Le moyen employé précédemment, et d'après lequel, la lentille restant fixe, on fait varier la quantité de lumière que l'on projette sur une même étendue de sa surface, est à l'abri de toute objection et conduit directement à la démonstration du principe énoncé plus haut.

Je rapporterai encore ici les résultats obtenus en éclairant à l'aide des rayons solaires simplement réfléchis un fragment d'alumine et un morceau verre d'urane, puis en les plaçant au foyer de la lentille, mais en prenant une ouverture déterminée pour donner accès aux rayons solaires réfléchis, qui tombaient sur la lentille :

Avec l'alumine (rubis) excitée par les rayons solaires simplement réfléchis on a eu, au photomètre, un angle de $10^{\circ} 43'$, ce qui donne pour le carré du sinus, ou intensité de la lumière émise, 0,034579; les rayons solaires concentrés par la lentille, l'ouverture du volet ayant 4 millimètres de largeur et 40 de hauteur, ont conduit à une valeur photométrique mesurée par un angle de $48^{\circ} 17'$, c'est-à-dire par le carré du sinus de cet angle, ou 0,557180. Le rapport des intensités lumineuses dans les deux cas est donc de $\frac{557180}{34579} = 16,1$.

Avec le verre d'urane, l'action des rayons solaires simplement réfléchis a donné au photomètre un angle de $9^{\circ} 45'$, dont le carré du sinus mesurant l'intensité lumineuse est 0,028679; les rayons solaires concentrés avec la lentille, l'ouverture du volet ayant 4 millimètres de largeur et 40 de hauteur, ont conduit à un angle qui mesuré au photomètre a été de $41^{\circ} 5'$, dont le carré du sinus est 0,484010; le rapport des intensités lumineuses dans les deux cas est donc de $\frac{484010}{28679} = 16,9$.

Le même verre soumis à l'influence des rayons concentrés par la lentille, mais l'ouverture du volet ayant 8 millimètres de largeur sur 40 de longueur c'est-à-dire le double de section que précédemment, a donné au photomètre un angle de $89^{\circ} 10'$, dont le carré du sinus est 0,999790; le rapport de l'intensité lumineuse avec celle que donnent les rayons solaires simplement réfléchis est donc $\frac{999790}{28679} = 34,8$.

On voit que ces rapports ont été sensiblement les mêmes avec les deux substances et également proportionnels aux dimensions de l'ouverture qui a donné accès à la lumière.

Entre les limites de 1 à 100 fois l'intensité de la lumière solaire, et à plus forte raison au-dessous, l'intensité de la lumière émise par les substances en vertu de leur action propre est donc sensiblement proportionnelle à l'intensité de la lumière incidente. Cette loi se continue-t-elle au delà ? C'est ce que je n'ai pu vérifier, vu l'élévation de température des matières placées au foyer de la lentille, laquelle modifie les effets lumineux, comme on le verra plus loin.

Il serait intéressant de savoir quelle peut être l'intensité maximum de la lumière émise par un corps par rapport à celle des rayons actifs ? Il est bien difficile de répondre à cette question ; car en général la teinte des rayons émis n'est pas la même que celle des rayons actifs, c'est-à-dire qu'il n'y a aucun rapport entre la réfrangibilité des rayons émergents du corps et celle des rayons incidents. Ainsi, par exemple, les rayons invisibles ultra-violetes peuvent exciter très-vivement certaines substances impressionnables ; dans ce cas, l'intensité des rayons excitateurs ne peut être évaluée, puisqu'ils n'agissent pas sur la rétine, ou du moins leur action lumineuse peut être considérée comme zéro, tandis que celle des rayons émis est assez forte. D'un autre côté, quand on veut comparer entre elles des lumières de teintes différentes, on ne peut obtenir des résultats précis. Cependant, pour donner une limite approximative, je rapporterai les résultats de la comparaison entre la lumière émise par l'azotate d'urane ou le double phosphate d'urane et de chaux et celle de la lumière solaire incidente. (Ce sont les matières qui m'ont paru les plus lumineuses dans le phosphoroscope.)

On a commencé par déterminer les rapports des coefficients d'absorption de la lumière dans son passage au travers des deux lunettes du photomètre fig. 3, c'est-à-dire d'une part au travers des deux prismes de Nicol, de l'objectif et de l'oculaire, et d'autre part par la réflexion totale et par le passage au travers de l'objectif et de l'oculaire. On s'est servi de la lampe Carcel, d'une bougie stéarique et de plusieurs verres jaunes agissant comme écrans absorbants des deux lumières comparées.

On a dirigé le tube droit AB sur la partie moyenne de la flamme de la bougie et de côté la lunette CD sur la partie moyenne de la flamme de la lampe. La lumière de la lampe étant plus vive, on a interposé successivement au-devant d'elle plusieurs écrans de verre jaune ; deux d'entre eux ont amené l'égalité des lumières, les deux prismes de Nicol ayant leurs sections principales parallèles. Si on appelle L l'éclat

umineux de la partie moyenne de la flamme de la lampe et B celle de la bougie, α le coefficient d'absorption au travers de la lunette AB, ϵ au travers de la lunette CD, et δ celui des deux verres jaunes, on aura, d'après cette expérience, l'angle compté à partir du croisement des deux prismes de Nicol étant 90° ,

$$B. \alpha. \sin^2 90^\circ = L. \epsilon. \delta,$$

c'est-à-dire

$$1) \quad B \alpha = L \epsilon \delta.$$

On a ensuite changé la position des lumières sans changer le photomètre de place, et l'on a dirigé la lunette AB sur la lampe et la lunette CD sur la bougie, d'abord sans les deux verres jaunes, ensuite avec eux, et dans chaque cas on a fait tourner l'oculaire de façon à amener les deux images juxtaposées à être égales en intensité; dans le premier cas il a fallu tourner le prisme de Nicol oculaire de 18° , dans le second cas de 73° .

On a, d'après ces expériences :

$$2) \quad L. \alpha. \sin^2 18^\circ = B. \epsilon,$$

$$3) \quad L. \delta. \alpha \sin^2 73^\circ = B. \epsilon.$$

En prenant dans la troisième équation la valeur de $L \delta$, la portant dans la première et réduisant, il vient

$$4) \quad \frac{\epsilon}{\alpha} = \sin^2 73^\circ = 0,9563.$$

C'est le rapport des quantités de lumière absorbées en traversant les systèmes réfringents des deux lunettes du photomètre. En portant cette valeur dans la seconde équation citée plus haut, il vient

$$5) \quad \frac{L}{B} = \frac{\sin^2 73^\circ}{\sin^2 18^\circ} = \frac{0,95630}{0,09549} = 10,01,$$

c'est-à-dire que la partie moyenne de la flamme de la lampe a un éclat 10 fois supérieur, à celui de la bougie. Ce rapport n'est pas exactement le même que celui des pouvoirs éclairants des deux flammes, ainsi qu'on

l'a expliqué antérieurement, livre III, page 97, les surfaces des sources lumineuses n'étant pas les mêmes.

En cherchant à comparer la lumière émise par le double phosphate d'urane et de chaux et par l'azotate d'urane, placés dans le phosphoscope et excités au moyen des rayons solaires simplement réfléchis sur la glace métallique de l'héliostat, on a trouvé par un ciel bien pur, les 4 et 5 juillet 1860 à dix heures du matin, et en plaçant deux écrans en verre vert devant la lampe, que pour amener l'égalité dans l'intensité des images il fallait tourner l'oculaire du photomètre,

	Le 4 juillet.	Le 5 juillet.
Pour l'azotate d'urane de.	15° 5'	18° 25'
Pour le double phosphate de.	18° 0'	21° 40'

En admettant le nombre 21°, le carré du sinus, qui est 0,1363, représente l'intensité de la lumière émise par ce dernier composé le 5 juillet à dix heures du matin.

Si l'on cherche à comparer l'intensité la lumière de la lampe avec celle de la bougie, soit seule, soit après avoir traversé deux verres colorés en vert, on n'a plus des images de même couleur, et les déterminations deviennent douteuses; cependant, j'ai jugé approximativement que la bougie étant de côté et mise à la place des sels d'urane, les angles donnés par le photomètre pour l'égalité de l'éclat des images ont été :

	Angle du photomètre.	Carré du sinus ou intensité lumineuse.
Avec les rayons émanés de la bougie. .	45° 0'	0,500,
Avec les rayons traversant les deux verres verts.	22° 50'	0,150.

On voit qu'il ne passe au travers des deux verres que 0,30 de la lumière de la bougie; par conséquent, dans l'expérience avec le phosphate d'urane, s'il n'y avait pas de verre vert devant la lampe, on ne trouverait qu'un nombre qui serait 0,1363. $0,3 = 0,041$ par rapport à la lumière prise pour unité. D'un autre côté, la bougie seule donnant 0,50, on voit donc que l'éclat de la lumière émise par le phosphate d'urane excité par les rayons solaires réfléchis est les $\frac{0,041}{0,500} = 0,082$

elui de la partie moyenne de la flamme de la bougie. Quand on se qu'à l'aide d'une lentille on peut concentrer la lumière solaire ente de façon à ce que l'éclat de la substance impressionnée dans osphoroscope soit au moins cent fois plus fort, ainsi qu'on l'a dit ieurement, on voit que l'éclat de cette substance ainsi excitée se- au moins égale à huit fois celui d'une bougie. Cette détermination e une idée de la puissance de l'intensité lumineuse qui peut être rvée dans le phosphoroscope.

a vu, dans les préliminaires, quelle était l'intensité lumineuse du so- ar rapport à celle d'une bougie, on pourrait donc connaître approxi- vement quelle est l'intensité de la lumière émise par le corps phos- escent par rapport à celle de la lumière incidente. On a mis alors place du phosphoroscope et à la hauteur des corps observés ieurement un écran percé d'une ouverture que l'on a éclairé avec ayons solaires réfléchis; on a dirigé vers cette ouverture le tube AB hotomètre fig. 3; on a placé du côté CD successivement une lampe e une bougie B, puis on a tourné les prismes de Nicol, de façon à ue l'intensité de l'image de l'ouverture éclairée par le soleil égale à celle des autres sources lumineuses. On a eu successive- t :

	Angle du photomètre.	Carré du sinus de l'angle.
Avec la lampe.	0° 48'	0,00019494
Avec la bougie.	0° 15'	0,00001904.

après les notations adoptées plus haut, en appelant S l'éclat lumi- : relatif au soleil après la réflexion, on a

$$L. \epsilon = S. \alpha \sin^2 (0^\circ 48') \quad \text{et} \quad B. \epsilon = S. \alpha. \sin^2 15'.$$

l voit d'abord que la valeur du rapport de l'éclat de la lampe à i de la bougie est peu différent du rapport qui a été donné pré- mment, puisque les deux équations étant divisées terme à terme ent

$$\frac{L}{B} = \frac{\sin^2 48'}{\sin^2 15'} = 10,2,$$

ieu de 10 trouvé plus haut.

On a ensuite pour l'éclat de la bougie comparée à celui du soleil :

$$B = S \frac{\sin^2 (0^\circ 15')}{\sin 73^\circ} = 0,00002.$$

C'est-à-dire que l'éclat du soleil vu par réflexion sur le miroir de l'héliostat serait à peu près celui de 50000 bougies (1). Comme on a vu plus haut que l'éclat de la lumière émise par le phosphate d'urane excité par les rayons solaires réfléchis était de 0,08 environ de celui de la bougie, il serait donc de $0,00002 \times 0,08$ de celui du soleil, c'est-à-dire 0,0000016 ou un peu plus de $1 \frac{1}{2}$ millionième de l'éclat de la lumière solaire incidente excitatrice. Telle serait, d'après cela, la limite du degré d'excitation des corps les plus lumineux par phosphorescence par rapport à la lumière solaire active.

Cette détermination, je le répète encore, n'est que bien approximative, car on a été obligé de comparer des lumières d'inégale couleur, ce qui ne saurait se faire avec exactitude ; il ne faut la considérer que comme donnant seulement une limite supérieure, car dans la plupart des cas l'intensité de la lumière émise par les corps comparée à celle de la lumière incidente est bien inférieure à la valeur précédente. D'un autre côté, comme on l'a vu précédemment, cette détermination se rapporte à la lumière solaire, et avec d'autres sources lumineuses, ou même avec les rayons différemment réfrangibles de la lumière solaire elle-même, on pourrait obtenir d'autres résultats ; en effet, des rayons qui agissent peu et pour ainsi dire point sur la rétine, comme les rayons ultra-violet, peuvent exciter très-vivement les corps, tandis que des rayons jaunes ou rouges très-lumineux peuvent se comporter comme inactifs par rapport à la plupart des substances impressionnables.

Bien que l'intensité de la lumière émise par action propre ne soit pas un caractère physique essentiel dépendant de la nature des corps, puisque cette intensité peut varier suivant leur état physique, néanmoins je rappellerai les résultats obtenus dans la comparaison de l'intensité de la lumière émise par quelques substances lors de leur maximum d'action, c'est-à-dire au maximum de vitesse du phosphoroscope. On suppose que ces matières placées dans le phosphoroscope

(1) Voir préliminaires, page 2.

Et même épaisseur et qu'elles sont excitées par un faisceau de rayons ont conservé sensiblement la même intensité. Les actions sont rapportées à celles présentées par l'azotate d'urane :

Double phosphate d'urane et de chaux.....	138,750
Azotate d'urane.....	100
Sulfure de strontium (lumineux vert).....	6,000
Sulfure de calcium (lumineux bleu).....	4,261
Sulfure de barium (lumineux vert).....	2,817
Verre (crown ordinaire).....	0,184
Sulfure de calcium (lumineux vert).....	0,136
Diamant (lumineux bleu).....	0,123
Fluorure de calcium (chlorophane verte).....	0,079
Mellite (lumineuse verte).....	0,033
Silicate de chaux naturel (Wollastonite).....	0,029

5. Vitesse de déperdition de la lumière émise par un corps phosphorescent quand l'émission est de très-courte durée. Pouvoir émissif et capacité des différents corps pour la lumière.

On a vu précédemment qu'un corps qui vient d'être exposé à l'influence de la lumière, s'il se trouve subitement placé dans l'obscurité net de la lumière pendant un temps plus ou moins long suivant sa nature et son état physique ; son extinction peut avoir lieu après une action de seconde, comme on l'observe avec la plupart des corps placés dans le phosphoroscope, ou bien après plusieurs heures comme montrent les sulfures alcalino-terreux. Mais la loi d'extinction est-elle la même pour tous les corps ; ne varie-t-elle pas avec l'intensité de la lumière active ? Telles sont les questions qui sont à étudier.

On conçoit que l'on peut représenter l'action moléculaire communiquée au corps par la lumière, pendant un temps déterminé, par une quantité qui dépend du pouvoir absorbant de ce corps et de sa capacité pour la lumière ; en outre, une fois l'action transmise au corps, lui-ci en vertu de son pouvoir émissif peut émettre des rayons de différentes longueurs d'onde. D'après cela, la capacité et le pouvoir émissif ou absorbant devraient se rapporter à l'action totale de la lumière ; mais en raison même de la diversité des effets produits, et comme l'on n'étudie dans ce livre que les questions relatives aux effets

de phosphorescence, je ne me servirai ci-après de ces expressions comme ne devant se rapporter qu'à la phosphorescence des corps ou émission lumineuse en vertu de l'action propre de ceux-ci.

La rapidité d'émission des rayons doit dépendre du pouvoir émissif du corps et de sa capacité; mais un certain nombre de corps émettant des rayons de durée inégale, soit de même nuance, soit de couleur différente, doivent présenter des effets complexes puisque la capacité et le pouvoir émissif varient, dans le même corps, pour ces divers rayons. Néanmoins, avec le plus grand nombre des corps, on n'observe pas de changements de couleur dans le phosphoroscope, ou du moins un des effets lumineux domine tellement les autres, que la détermination des intensités lumineuses se fait comme si les couleurs ne changeaient pas pendant l'expérience. La température fait également varier les éléments qui entrent dans l'expression de la rapidité de l'extinction de la lumière du corps; mais il n'en sera question que plus loin, et l'on supposera ici que les corps restent à la température ambiante.

On supposera également dans ce qui va suivre que les corps sont impressionnés par la lumière blanche du soleil, et qu'ils émettent, pendant leur extinction, des rayons de même couleur quoique d'une nuance différente de celle des rayons actifs; les corps qui vont être soumis à l'expérience se trouvent réaliser cette seconde condition.

La supposition la plus simple que l'on puisse faire est d'admettre que la loi de l'extinction lumineuse des corps est analogue à celle qui représente leur refroidissement quand ils sont échauffés; or, sans connaître la loi exacte, on peut supposer que pour de faibles différences d'intensité lumineuse et alors que l'émission a lieu dans l'obscurité, une expression qui se borne au premier terme d'une série exponentielle comme la formule dite *formule de Newton*, peut rendre compte des résultats des expériences.

Dans cette hypothèse, soient I_0 l'intensité des rayons actifs incidents, et i_0 l'intensité de la lumière émise par le corps quand le maximum est atteint, au moment où la lumière I cesse d'agir et où le corps se trouve subitement placé dans l'obscurité. Soient deux quantités constantes E et C qui représentent le pouvoir émissif de la partie du corps qui émet de la lumière et sa capacité pour la lumière ou le pouvoir qu'il possède d'exiger une somme d'action plus ou moins forte de la portion de l'agent lumineux qui agit sur lui, pour donner, par

phosphorescence, une émission de rayons d'une intensité déterminée. Quant au pouvoir absorbant, on peut le regarder comme égal au pouvoir émissif. On suppose que le corps est d'une dimension très-petite et que son épaisseur est telle, que tous ses points ont en même temps la même intensité lumineuse; on admet encore que la lumière émise dans les différentes directions par rapport à sa surface possède au même instant la même intensité, c'est-à-dire que l'épaisseur de la surface extrême du corps ne modifie pas la loi d'émission. Cette supposition n'est pas rigoureusement exacte, mais la formule à laquelle on est conduit permet de comparer les effets produits lorsque la lumière est émise toujours dans une même direction par rapport à la surface, direction qui dans ces expériences est la normale à la surface de sortie des rayons lumineux. On peut se borner à chercher quel est l'effet produit par une molécule du corps ou par un espace qui aurait la même étendue dans toutes les expériences comparatives, afin de n'avoir point à introduire dans le calcul l'étendue et la masse du corps.

La vitesse V de déperdition de la lumière, d'après l'hypothèse précédente, sera proportionnelle à l'intensité lumineuse du corps, puisque ce dernier étant dans l'obscurité ne reçoit plus de lumière : elle sera donc égale à $-\frac{E}{C}i$, et on aura

$$(1) \quad V = \frac{di}{dt} = -\frac{E}{C}i,$$

t étant le temps compté depuis l'origine de l'extinction du corps.

On peut faire $\frac{E}{C} = a$ (nous verrons revenir par la suite le coefficient a , qui est proportionnel au rapport du pouvoir émissif à la capacité des corps pour la lumière); l'équation (1) devient alors

$$\frac{di}{dt} = -ai,$$

en intégrant cette équation et en déterminant la constante arbitraire qui s'introduit par la condition que l'on ait $i = i_0$ pour $t = 0$, on obtient

$$(2) \quad i_t = i_0 e^{-at},$$

i_t étant l'intensité lumineuse du corps après le temps t ; e désigne ici la base des logarithmes népériens; mais rien n'empêche de supposer $e = 10$, car cela revient évidemment à multiplier le coefficient a par l'inverse du module des logarithmes vulgaires, c'est-à-dire par une constante qui reste la même dans toutes les déterminations expérimentales.

Voyons si cette formule rend suffisamment compte des résultats de l'expérience.

Il est nécessaire de pouvoir maintenir le phosphoroscope en rotation avec une vitesse uniforme, afin de déterminer, avec le photomètre, l'intensité lumineuse correspondant à une vitesse donnée, c'est-à-dire à un intervalle de temps connu qui sépare l'instant de l'insolation du corps du moment de l'observation. Si la vitesse de rotation est uniforme, comme l'intensité de la lumière incidente ne change pas dans un intervalle de temps très-court, l'intensité lumineuse sera également uniforme.

Pour maintenir la vitesse constante pendant la durée d'une expérience, j'ai d'abord adapté sur l'axe du phosphoroscope un tambour autour duquel était enroulée une corde; cette corde passait autour d'une poulie suspendue au haut de la chambre noire, et à l'aide d'une autre poulie mouflée faisait tourner le phosphoroscope au moyen d'un poids. Une palette mobile avec l'appareil, faisant volant par la résistance de l'air, rendait la rotation uniforme. Ce procédé est exact, mais peu expéditif, et demande certaines précautions.

J'ai fait également usage du moyen qui consiste simplement à faire mouvoir la manivelle du phosphoroscope à la main, en ayant soin que l'opérateur dans chaque expérience suive le mouvement d'un pendule dont on fait varier la longueur; une autre personne suit avec un compteur à pointage le mouvement du phosphoroscope et marque la vitesse de chaque tour de la manivelle; quand l'intensité de la lumière émise par le corps dans le phosphoroscope est constante, on note à l'aide du compteur la vitesse de rotation au moment de l'observation. Ce moyen nécessite plusieurs opérateurs; mais il m'a donné des résultats parfaitement comparables, et qui ont concordé avec ceux trouvés par la précédente méthode; je dois même ajouter qu'un phosphoroscope mis en mouvement par un fort mouvement d'horlogerie n'a pas donné de résultats plus précis.

Dans les expériences dont les résultats sont indiqués plus loin, on a

donné en secondes de temps la vitesse du grand axe du phosphoroscope, et on en a déduit le temps t qui sépare l'instant où l'insolation cesse du moment de l'observation moyenne, en millièmes de seconde.

Ainsi l'expérience donne les intensités lumineuses $i, i', i'',$ etc., quand les temps qui séparent l'insolation du moment de l'observation sont $t, t', t'',$ etc..., évalués en millièmes de seconde.

Si la loi énoncée plus haut est exacte, on doit avoir d'après la formule (2)

$$(3) \quad \log i = \log i_0 - at, \quad \log i' = \log i_0 - at', \quad \text{etc...}$$

d'où

$$\frac{\log i' - \log i}{t - t'} = a, \quad \frac{\log i'' - \log i'}{t' - t''} = a, \dots,$$

c'est-à-dire que les différences entre les logarithmes des intensités lumineuses doivent être proportionnelles aux différences des temps, et que leur rapport doit donner précisément le coefficient a .

Les expériences suivantes ont été faites avec différents composés d'uranium, le verre d'urane, le double phosphate d'urane et de chaux, le double sulfate de potasse et d'urane et l'azotate d'urane : on rapporte seulement un tableau des expériences faites avec le verre d'urane (1) :

(1) Pour les autres résultats, voir *Ann. de chim. et de physique*, t. 62, p. 42 et suivantes.

SOURCES DE LUMIÈRE.

Verre d'urane, la lumière émise est verte.

INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE SOLAIRE INCIDENTE.	OBSERVATION DU TEMPS.		INTENSITÉ DE LA LUMIÈRE ÉMISE PAR LE CORPS.			Valeur MOYENNE de α .
	Temps d'un tour du grand axe du phosphoro- scope, en secondes.	Temps t qui sépare le moment de l'insolation de celui de la vision, en millièmes de seconde.	Angle donné par le photo- mètre.	Angle du photo- mètre. (Par le calcul).	Double du logarithme du sinus de l'angle observé.	
Rayons solaires simplement réfléchis, l'intensité est supposée 1.	2,34	1,5444	5.00	4.35	1,8805920	0,5878
	1,66	1,0956	5.50	6.13	2,0140872	
	1,32	0,8712	7.15	7.15	2,2021116	
Rayons déjà concentrés, 3,27	3,34	2,2044	6.35	5.16	2,1187344	0,5756
	1,82	1,2012	9.12	10.18	2,4075948	
	1,49	0,9834	11.55	11.55	2,6297930	
Rayons concentrés, 15,00	10,00	6,6000	0.50	0.37	0,3253616	0,5756
	7,20	4,7520	2.25	2.07	1,2499306	
	2,80	1,8480	13.15	14.42	2,7204308	
	1,94	1,2804	20.55	21.39	3,1053602	
	1,40	0,9240	27.55	27.55	3,3408384	
Id., rayons plus concentrés, 73,00	8.00	5,2800	4.00	4.26	1,6871690	0,4924
	7,20	4,7520	5.20	5.59	1,936497	
	4,63	3,0558	17.47	15.51	2,9697902	
	3,02	1,9932	30.15	29.52	3,4054714	
	2,42	1,5972	38.10	38.36	3,5819082	
	1,52	1,0032	60.55	60.55	3,8829370	
Au foyer de la lentille, 110,02	7,00	4,6200	8.20	7.14	2,3223278	0,5409
	5,00	3,3000	17.20	16.39	2,9482292	
	2,40	1,5840	57.35	56.26	3,8528620	
	1,96	1,2936	90.00	90.00	4	
Moy. 0,5546						

Avec les autres composés d'uranium, on a eu, en moyenne, pour la valeur de α :

Avec le double phosphate d'urane et de chaux :

		Valeur moyenne de α .
Rayons solaires réfléchis,	intensité 1.....	0,8030
— concentrés avec une lentille,	id. 2,96.....	0,8015
— plus concentrés,	id. 10,19.....	0,8182
— id.	id. 13,22.....	0,8599
Moyenne.....		0,8206

Avec le double sulfate d'urane et de potasse :

		Valeur moyenne de α .
Rayons solaires réfléchis,	intensité 1.....	1,4227
— avec une lentille,	id. 2,79.....	1,4712
— plus concentrés,	id. 9,74.....	1,2667
Moyenne.....		1,3869

Avec l'azotate d'urane :

		Valeur moyenne de α .
Rayons solaires réfléchis,	intensité 1.....	0,3530
— concentrés,	id. 5,97.....	0,4136
— id.	id. 32,12.....	0,4394

Autre série d'expériences :

Rayons solaires réfléchis,	intensité 1.....	0,4455
— concentrés,	id. 3,06.....	0,4212
— id.	id. 44,55.....	0,4515
Moyenne des deux séries.....		0,4207

Si l'on examine d'abord les résultats obtenus avec le verre d'urane, on voit que dans les cinq séries d'expériences, la première a été faite avec les rayons solaires simplement réfléchis sur le miroir de l'héliostat; l'intensité des rayons solaires incidents est alors représentée par 1. On n'a pu faire qu'un petit nombre de déterminations, car l'intensité lumineuse observée, i , a été assez faible. On a concentré alors successivement avec une lentille les rayons solaires, et les intensités ont

été 3,27, 15,00, 73,00, 110,02, par rapport à la première; ces intensités ont été données, dans chaque série d'expériences, par les valeurs de ϵ_0 d'après la formule (3), page 277, et une fois que l'on a eu a . le rapport des valeurs trouvées à celle de la première expérience a conduit aux nombres précédents, car on a vu page 266 que l'intensité des rayons actifs est proportionnelle à l'intensité des rayons émis.

Les séries d'expériences faites avec les autres substances ont conduit à la même conclusion; on remarque cependant que tantôt la valeur du coefficient a va en augmentant lorsque l'intensité lumineuse incidente augmente beaucoup, tantôt elle diminue un peu. Cette variation doit provenir, en dehors des erreurs d'observation, de ce que chaque série d'expériences ayant une durée de vingt ou trente minutes au moins, l'intensité lumineuse solaire va en augmentant ou en diminuant, et cela suivant l'heure du jour et l'état de l'atmosphère. En somme, l'on peut admettre que la valeur du rapport a entre le pouvoir émissif et la capacité des corps ne change pas, pour un même corps quand l'intensité de la lumière excitatrice solaire varie de 1 à 100.

On voit aussi, d'après ce qui précède, que pour les composés d'uranium qui ont sensiblement même nuance les valeurs de a sont bien différentes.

Les expériences suivantes ont été faites en se servant d'alumine (coryndon) que l'on a placée successivement dans des phosphoscopes à 4 ouvertures ou à 1 ouverture, puis ensuite au moyen d'un rubis bien lumineux par phosphorescence et d'un fragment d'alumine opaque provenant de la calcination de l'acétate d'alumine à une haute température. On ne donne que les valeurs de a , qui sont obtenues comme on l'a indiqué plus haut lorsqu'on a fait usage du verre d'urane.

Alumine, coryndon rouge amorphe, légèrement translucide; la lumière émise est rouge :

	Valeur moyenne de a
Phosphoscope à 4 ouvertures.	0,0774
Id. à 1 ouverture.	0,0791
Alumine, coryndon rouge taillé transparent (rubis), lumière rouge.	
Phosphoscope à 4 ouvertures.	0,0792
Alumine opaque précipitée et calcinée, en fragments très-minces, la lumière émise est rouge.	
La lumière est concentrée; près du foyer de la lentille. . .	0,0837

reconnait que l'alumine amorphe et préparée aussi pure que ble donne pour la valeur de a un nombre à peu près semblable à que présente le coryndon naturel cristallisé, bien que l'intensité lumière émise, à égalité d'action excitatrice, soit bien différente dans les diverses expériences. Cette remarque est très-importante; montre que la nature du corps exerce seule une influence sur le rapport du décroissement de la lumière, et que le rapport du pouvoir de la lumière émise reste constante, comme on le verra dans le chapitre 4 (1). Quant à l'intensité de la lumière que le corps peut émettre dans des conditions déterminées, elle peut varier et dépend de circonstances qui échappent à nos investigations.

Les divers résultats viennent à l'appui de l'hypothèse sur la déperdition de la lumière faite au commencement de ce paragraphe. Mais, en fait, on ne peut affirmer que l'exponentielle $I = e^{-at}$ soit l'expression exacte de la loi de déperdition de la lumière en vertu de l'action des corps, de même qu'elle ne donne pas exactement le rapprochement de ces mêmes corps, mais on peut la regarder comme une formule empirique rendant suffisamment compte des résultats des expériences, et cela quand l'intensité lumineuse active varie entre 1 et 10 fois celle de la lumière solaire incidente; car les erreurs du photométrique employé peuvent expliquer les différences entre les ombres calculés et ceux qui sont déduits de l'expérience. D'un autre côté, tous les corps qui sont lumineux dans le phosphoroscope ne produisent pas des effets semblables; le nombre de ceux qui concordent avec des résultats que l'on peut calculer à l'aide de l'exponentielle plus haut doit être assez grand, mais comme l'évaluation des intensités lumineuses exige une certaine intensité de la lumière émise, on ne peut faire la comparaison qu'au moyen des corps les plus impressionnables. Le tableau qui va être cité plus loin renferme les résultats comparés avec un certain nombre d'entre eux. On verra, au reste, par les faits que les corps qui présentent les effets que présentent les corps qui offrent une émission de rayons de différentes réfrangibilités suivant la vitesse du phosphoroscope, comme le diamant, la fluorine, certaines variétés de phosphate, etc., ou bien qui donnent une émission lumineuse longue durée, comme les sulfures alcalino-terreux.

Les corps dont la persistance des impressions lumineuses est plus petite que celle des substances énoncées dans le tableau indiqué ci-après n'ont pu être examinés. Bien que le phosphoroscope à 10 ouvertures dont on a fait mention page 223, et dont la rapidité de rotation est beaucoup plus grande que celle des autres appareils, ait permis de rendre lumineux quelques corps comme les platino-cyanures de potassium et de calcium, cependant la petite dimension des fragments qui y sont placés et le peu de lumière que l'on peut concentrer sur eux ne m'a pas permis de faire la détermination des intensités lumineuses d'une manière précise.

Si l'on admet que l'exponentielle $i_t = i_0 e^{-at}$ représente d'une manière satisfaisante l'intensité lumineuse i_t après le temps t , on pourrait en conclure approximativement la quantité totale Q de lumière émise par le corps lumineux, quantité qui mesure la somme d'action communiquée au corps par l'agent lumineux. Il faut admettre toutefois que ce corps a une dimension très-petite et que le passage de la lumière, qui a pénétré à une certaine profondeur au travers de la couche superficielle du corps, ne modifie pas son intensité. D'après cette supposition, cette quantité de lumière Q serait donnée par l'intégrale de la différentielle $i_t dt$, prise depuis $t = 0$, jusqu'à $t = \infty$: on aurait donc

$$(4) \quad Q = \int_0^{\infty} i_0 e^{-at} dt = \frac{i_0}{a},$$

c'est-à-dire que cette quantité serait égale au rapport de l'intensité de la lumière émise à l'origine de l'extinction, au coefficient a .

Pour montrer entre quelles limites peuvent varier ces quantités, on a placé dans le tableau suivant, à côté des corps dont les noms se trouvent indiqués, la valeur du coefficient a , puis ensuite celle de i_0 que l'on a calculé d'après l'intensité lumineuse déduite de la formule (2), page 275, et d'après la valeur de a .

Il faut remarquer que la valeur de a est indépendante de l'intensité lumineuse du corps, et représente, avec toutes les substances renfermées dans le tableau, le rapport du pouvoir émissif à la capacité du corps pour la lumière, tandis que les valeurs de i_0 et de $\frac{i_0}{a} = Q$ ne peuvent être comparées qu'entre celles d'une même série, les unités de comparaison

tant pas les mêmes. On a donné autant que possible la même épaisseur aux corps avec lesquels on a opéré.

La première série d'expériences est relative aux corps dont la lumière est de teinte verte quoique de nuance un peu différente pour chacun d'eux. La 1^{re} colonne renferme le nom du corps impressionnable ; 2^e, la valeur de a ; la 3^e, l'intensité maximum de la lumière émise au maximum de vitesse de l'appareil, l'intensité donnée par l'azotate d'urane étant supposée égale à 100 ; et la 4^e, la valeur de $\frac{i}{a}$, c'est-à-dire Q .

	Valeur de a .	Valeur de f .	Valeur de $\frac{i}{a}$.
Uranite naturelle (peu lumineuse).....	1,4975	»	»
Carbure d'hydrogène à teinte des sels d'urane	1,4363	0,062	0,043
Double sulfate d'urane et de potasse.....	1,3869	64,240	46,311
Double phosphate d'urane et de chaux.....	0,8206	138,750	169,083
Perchlorure d'uranium et de potassium.....	0,7682	16,950	22,064
Verre d'urane.....	0,5546	13,587	24,499
Azotate d'urane.....	0,4207	100.	237,700
Double fluorure d'uranium et de potassium..	0,3256	68,104	209,165
Verre (crown ordinaire).....	0,0436	0,184	4,220
Chaux phosphatée violette.....	0,0263	0,992	37,723

Deuxième série d'expériences est relative aux corps dont la lumière est rouge : l'intensité i donnée par l'alumine (rubis transparent) supposée égale à 100. L'intensité lumineuse n'est donc pas rapportée à la même unité que dans la série précédente.

	Valeur de a .	Valeur de f .	Valeur de $\frac{i}{a}$.
Topaze jaune transparente.....	0,5546	0,124	0,223
Silicate d'alumine (disthène).....	0,2295	1,022	4,453
Alumine (rubis).....	0,0791	100.	1264,222
Aluminate de magnésie (spinelle octaèdre)...	0,0094	25,685	2732,447

Troisième série d'expériences est relative aux corps dont la lumière est de couleur rouge orangé. On a essayé de rapporter les intensités lumineuses à celle du rubis, quoique les nuances présentées par les dix corps suivants soient différentes.

	Valeur de a .	Valeur de i .	Valeur de $\frac{i}{a}$
Leucophane.	0,01470	0,777	52,857
Carbonate de chaux lumineux orangé (variété prismatique).....	0,00507	6,146	1212,228

On reconnaît à l'inspection de ce tableau que le corps qui présente la valeur la plus petite du coefficient a qui ait pu être déterminée au moyen des phosphoscopes dont j'ai fait usage est le spath d'Islande; elle est $a = 0,00507$. Certains composés d'uranium donnent un nombre 300 fois plus fort, et des corps organiques, comme le bisulfate de quinine, donnent des valeurs plus élevées que je n'ai pu déterminer avec les appareils dont j'ai fait usage.

On doit attacher plus d'importance à l'examen du coefficient a , qui ne dépend que de la nature du corps soumis à l'expérience, qu'à celui des quantités i , et Q , car celles-ci, sont essentiellement variables suivant des circonstances que l'on ne peut souvent apprécier, et la dernière (la quantité Q) est donnée par une expression basée sur des suppositions qui n'ont pas été complètement vérifiées par expérience.

La valeur de a est déterminée par rapport à l'unité de temps, qui est ici 0'',001. Si l'unité de temps était 1 seconde, il faudrait multiplier a par 1000, et diviser par conséquent $\frac{1}{a}$ ou Q par le même nombre.

On doit remarquer que le temps nécessaire pour qu'un corps soumis à l'insolation arrive au maximum d'effet est sensiblement en raison inverse de a , c'est-à-dire qu'il est sans erreur bien grande proportionnel à $\frac{1}{a}$: en effet, bien que l'on ne connaisse pas la loi d'admission de la lumière par le corps depuis le moment où il devient actif jusqu'à l'instant où son état lumineux est stationnaire, l'intensité lumineuse i , à cet instant, est proportionnelle à l'intensité I de la lumière excitatrice. Or, si l'on nomme θ le temps nécessaire pour que cet instant soit atteint, θ étant toujours très-petit et inférieur à une fraction de seconde, on peut supposer que la somme d'action reçue par le corps est proportionnelle d'une part à l'intensité I de la lumière excitatrice, et d'autre part au temps θ lui-même; et comme I est proportionnel à i , comme on l'a vu, cette somme d'action sera alors proportionnelle au produit θi . Mais, d'un autre côté, cette somme d'action, étant égale à la quantité de lumière que le corps émet, peut être évaluée approximativement, ainsi

on l'a vu plus haut, comme proportionnelle à $\frac{i}{a}$; on aura donc :

$$i\theta = k \frac{i}{a},$$

-à-dire,

$$\theta = k \cdot \frac{1}{a},$$

où k est un coefficient constant.

Après les tableaux précédents le nombre a depuis les sels d'urane jusqu'au carbonate de chaux varie de 1,5 à 0,005, en prenant le millième de seconde pour unité de temps; on voit donc que $\frac{1}{a}$ ou θ variera dans un rapport de 1 à 300, et s'il ne faut qu'une très-petite fraction de seconde pour que le calcaire atteigne son maximum d'effet quand il est soumis à l'insolation, il ne faudra à plus forte raison qu'un temps 200 fois plus petit pour les sels d'urane. Pour les platino-cyanures et sulfate de quinine, ce temps serait encore moindre. Du reste l'expérience seule, comme on l'a vu dans le § 2, avait conduit à une conclusion analogue.

— *Vitesse de déperdition de la lumière quand l'émission lumineuse du phosphore est de longue durée, c'est-à-dire supérieure à une seconde de temps. Résultats présentés par les phosphores artificiels (sulfures alcalino-terreux).*

Malgré que les matières impressionables présentent une persistance dans l'émission lumineuse pouvant durer plus d'une seconde, et quand elles ont des rayons de diverse réfrangibilité qu'elles émettent ont des durées différentes, l'exponentielle citée plus haut ne peut représenter d'une manière satisfaisante les résultats des expériences. Les effets donnés par le spath fluor et une variété de phosphate de chaux viennent confirmer cette conclusion. Les diamants sont ordinairement jaunes à cause d'une faible vitesse du phosphroscope, puis en général deviennent bleus par une plus grande vitesse; j'ai choisi pour les expériences qui sont rapportées ci-après un diamant en forme de sphère, et appartenant au Muséum d'histoire naturelle; comme ce diamant devenait immédiatement bleu et ne donnait qu'une trace de lumière rouge, je pense que l'effet produit doit se rapporter presque entière-

ment à l'émission de la lumière bleue. Le spath fluor était de la *chl* ~~cro-~~rophane verte, extrêmement lumineuse, et paraissant successivement bleue, orangée, puis verte, suivant la vitesse de l'appareil. Le phosphate de chaux était d'abord vert, puis ensuite orangé.

Les expériences suivantes ont été faites avec ces trois substances.

On rapporte seulement dans le tableau ci-après le temps t qui sépare le moment de l'insolation de l'instant de la vision en millièmes de seconde, l'intensité de la lumière émise i , et le produit it . On a eu d'abord avec le diamant lumineux bleu :

Temps t .	Intensité i .	Valeur de it .
10,560	1,9026	20,0915
6,996	3,7270	26,0741
3,960	6,6192	26,2112
2,746	12,8150	35,1900
1,874	34,2600	64,2169

Quant à la valeur de α , qui a été de 0,081 entre la 1^{re} et la 2^e expérience, elle a conservé la même valeur entre la 2^e et la 3^e, mais elle est devenue 0,109 entre la 3^e et la 4^e et 0,490 entre les 2 dernières; ainsi, elle a augmenté beaucoup entre ces limites.

Avec le fluorure de calcium, fluorine verte très-lumineuse, on a eu :

23,760	0,4759	11,3262
7,920	0,9326	7,3862
1,914	4,4695	8,5546
0,918	14,1560	11,5796

La valeur de α , qui a été de 0,019 entre la 1^{re} et la 2^e expérience, est devenue 0,112 entre la 2^e et la 3^e, et 0,453 entre la 3^e et la 4^e; ainsi elle a rapidement augmenté depuis le commencement des expériences.

Avec la chaux phosphatée jaunâtre de Jumillac on a trouvé :

25,476	0,2539	6,5193
6,930	0,4759	3,2979
2,805	0,8995	2,5231
0,871	2,2517	1,9613

La valeur de α , qui était 0,015 entre la 1^{re} et la 2^e détermination, a été de 0,062 entre la 2^e et la 3^e et 0,204 entre la 3^e et la 4^e; elle a donc aug-

té rapidement entre les limites des déterminations expérimentales. Ainsi, d'après ces résultats, la valeur de a calculée comme précédemment va en croissant à mesure que le temps diminue, au lieu de se comprendre entre certaines limites peu éloignées, comme avec les substances dont on a parlé dans le §3. On doit conclure de là que la loi énoncée plus haut, et d'après laquelle on aurait

$$i_t = i_0 e^{-at},$$

et pas la loi de la déperdition de la lumière de ces corps phosphorescents, à moins que les substances précédentes ne se trouvent dans des conditions exceptionnelles, dues à la diversité des rayons qu'elles émettent simultanément avec des durées inégales. S'il en était ainsi et si l'on pût admettre, pour chaque groupe de rayons qui ont une persistance différente, une expression exponentielle contenant un coefficient d'extinction particulier, la formule qui représenterait les expériences deviendrait fort compliquée; ainsi, avec le diamant, qui donne dix nuances bien tranchées, en supposant que l'intensité soit donnée par la formule

$$I = i_0 e^{-at} + y_0 e^{-bt},$$

tant l'intensité lumineuse totale, i_0 et y_0 les intensités lumineuses de chaque groupe de rayons quand $t=0$ et de telle sorte que $I_0 = i_0 + y_0$, on trouve qu'en faisant $a=0,08$ et $b=1,07$, on rend assez bien compte des intensités lumineuses observées. Mais si les corps offrent des persistances inégales pour un plus grand nombre de groupes de rayons (comme par exemple la chlorophane), on serait conduit à une somme d'exponentielles dont le calcul serait beaucoup trop compliqué pour permettre de comparer les résultats des expériences.

Il est donc possible que l'existence dans le faisceau de lumière émise de plusieurs groupes de rayons qui décroissent d'intensité avec des vitesses différentes soit la cause de ce que les corps dont il est question dans ce paragraphe ne donnent pas des intensités lumineuses qui puissent être représentées par l'expression $i_0 e^{-at}$; mais comme dans la plupart des cas on ne peut distinguer par expérience ces différents groupes, il faut chercher empiriquement si l'on ne pourrait pas lier entre eux de quelque autre manière les résultats des observations, sans connaître d'avance la loi d'extinction de la lumière émise par ces substances.

On va voir plus loin que l'on peut parvenir, entre certaines limites, à lier empiriquement l'intensité lumineuse au temps, en se fondant sur une remarque qui se déduit déjà des résultats précédents, mais qui sera plus nettement établie plus loin en faisant usage des sulfures alcalino-terreux; cette remarque est que le produit du temps qui sépare l'insolation de l'instant de la vision, par l'intensité de la lumière émise à cet instant, ne varie que dans des limites peu éloignées, ou bien change régulièrement avec ce temps lui-même. On peut voir dans la dernière colonne des tableaux précédents qu'avec le fluorure de calcium ce produit reste à peu près le même, ce qui montre que la vitesse d'extinction de la lumière, abstraction de la couleur, varie, à très-peu près, entre les limites de l'expérience comme le carré de l'intensité lumineuse; car si $ti = c$, on a pour cette vitesse

$$V = \frac{di}{dt} = -\frac{i^2}{c}$$

Avec les autres substances, ce produit change, mais seulement dans les limites de 1 à 3.

Si l'on place dans le phosphoroscope des substances dont la persistance des impressions lumineuses est très-grande, comme le sulfure de calcium lumineux vert et le sulfure de calcium lumineux jaune, on ne voit pas l'intensité lumineuse changer sensiblement avec la vitesse de rotation de l'appareil. On a déjà parlé antérieurement de cet effet, offert également par le carbonate de chaux spathique et par d'autres corps; il provient de ce que ces corps exigent un certain temps pour être excités par la lumière, et je pense qu'il doit se présenter toutes les fois que l'émission des rayons, par phosphorescence, se fait dans des conditions régulières et que les rayons émis par le corps ont tous le même coefficient d'extinction. Mais si le corps peut émettre simultanément des rayons d'inégale persistance et qui peuvent être de même réfrangibilité, dans ce cas, même avec une longue persistance, il doit changer d'intensité avec la vitesse du phosphoroscope. On peut citer comme exemples le sulfure de strontium lumineux vert et même celui lumineux bleu. Pour observer ces effets, il suffit de placer sur une petite lame de mica, avec un peu de gomme arabique, une couche de ces sulfures réduits en poudre que l'on peut voir alors par transparence dans le phosphoroscope.

Si l'on appelle t le temps qui sépare le moment de l'insolation de l'ins-

tant de la vision en secondes, i l'intensité de la lumière émise, a la valeur du coefficient particulier déterminé comme il a été dit plus haut, on aura pour le sulfure vert de strontium :

Temps t .	Intensité i .	Produit it .
0,0266	0,01281	0,00034
0,0073	0,03321	0,00024
0,0026	0,07987	0,00021
0,0013	0,11327	0,00015

La valeur du coefficient a , qui a été trouvée de 0,0220 entre la 1^{re} et la 2^e expérience, a été de 0,0806 entre la 2^e et la 3^e, et 0,1150 entre la 3^e et la 4^e; le coefficient a donc augmenté quand le temps t a diminué.

Avec le sulfure lumineux violet on a eu :

0,0393	0,02724	0,00109
0,0115	0,14338	0,00166
0,0059	0,25000	0,00149
0,0020	0,56670	0,00113

La valeur du coefficient a , qui était de 0,0255 entre la 1^{re} et la 2^e expérience, est devenue 0,0421 entre la 2^e et la 3^e, et 0,0890 entre la 3^e et la dernière; ce coefficient a encore augmenté rapidement.

On voit que ces substances se comportent comme donnant pour valeur de a un nombre qui augmente à mesure que le temps diminue.

D'un autre côté, il est facile de montrer qu'avec le premier sulfure on a l'exemple d'un corps qui donne une émission de rayons de durée différente quoique de même réfrangibilité, et cela suivant la réfrangibilité des rayons excitateurs; il suffit, comme on le dira plus loin chapitre IV, de placer ce sulfure dans le spectre solaire entre les raies prismatiques H et I pour voir se produire une belle lumière verte, alors qu'elle ne persiste pas dans la chambre noire, tandis que si le sulfure est placé entre les raies G et H ou au delà de I, il acquiert une phosphorescence de même nuance, mais persistante. Ainsi il se produit une émission de rayons de même nuance, mais de durée inégale, quand le même corps est excité par des rayons de diverse longueur d'onde. Il est possible qu'il se manifeste simultanément des effets analogues lors de l'action de la lumière blanche sur certains corps et que parce fait la loi de l'extinction lumineuse de ces corps se trouve plus compliquée.

On pourrait peut-être arriver à démontrer s'il en est réellement ainsi, en éclairant successivement un même corps, dans le phosphoscope, à l'aide des différents rayons du spectre, et en déterminant dans chaque cas la valeur du coefficient a ; c'est un point que je compte éclaircir. Je n'ai fait d'expériences sur ce sujet qu'à l'aide d'un cristal de nitrate d'urane, en plaçant devant le phosphoscope un verre bleu foncé, ou bien en ne mettant pas d'écran, et j'ai obtenu à l'aide de deux séries d'expériences la même valeur de a ; mais il est nécessaire d'opérer avec les diverses parties du spectre.

Il était important de mesurer directement l'intensité de la lumière émise par les différents sulfures alcalino-terreux. Le photomètre fig. 3 ne peut plus servir pour comparer les lueurs émises par les corps très-faiblement lumineux qui sont visibles pendant plusieurs heures dans l'obscurité. Pour pouvoir suivre l'émission de la lumière dans cette circonstance, le procédé le plus précis consiste à fixer, à l'aide de gomme arabique, les substances préalablement réduites en poussière sur un écran en carton de 1 décimètre de hauteur sur 5 de largeur, et à placer cet écran en contact avec une feuille mince de papier blanc de même grandeur et qui peut être éclairée par transparence au moyen d'une source lumineuse mise par derrière. Ces deux surfaces sont placées sur un écran suffisamment grand et noirci de façon que l'observateur, qui se trouve dans une chambre noire, peut juger de l'égalité de leur éclaircissement. La source lumineuse qui m'a le mieux réussi est une lampe à mèche plate, dont le support ou la boîte est noircie tout autour de la flamme, et qui peut recevoir des verres colorés à la partie antérieure afin de donner à la lumière la même couleur que celle du corps lumineux que l'on étudie. Cette lampe peut glisser sur une poutre de 4 mètres de longueur portant une règle divisée par millimètres, de façon à faire connaître exactement la position de la lampe par rapport à celle de l'écran en papier éclairé par transparence. Au moyen de cette disposition et à l'aide d'écrans convenablement placés, l'opérateur ne reçoit de lumière que celle qui est émise par les deux surfaces, l'une éclairée par transparence, l'autre par le corps en vertu de son action propre; s'il examine en outre les deux surfaces à l'aide d'un cylindre creux en carton noirci intérieurement, il ne reçoit aucune trace de lumière étrangère pouvant entraver la comparaison des intensités lumineuses.

On peut suivre avec cet appareil, qui donne directement l'intensité

umineuse de la matière phosphorescente, la lumière émise par certaines substances impressionnables jusqu'à 1^h 30^m après l'insolation; au delà, les différences ne sont plus mesurables, et cependant on voit encore les matières pendant plus de 36 heures. Au moyen de cette disposition, quand la source lumineuse est à 200 centimètres de l'écran, une variation de 2 centimètres dans sa position donne une différence sensible dans l'intensité lumineuse des deux surfaces comparées; cette variation correspond à une différence $\frac{4}{100}$ ou $\frac{1}{25}$. Si la position de la source varie de 4 centimètres ou bien si on a une variation de $\frac{1}{25}$ dans l'intensité lumineuse de l'image éclairée par la source, le changement d'intensité des deux images que l'on compare est très-appréciable. Ainsi la fraction $\frac{1}{50}$ donne la limite à laquelle on peut arriver lors de la comparaison des intensités lumineuses et lorsque celles-ci ne sont ni trop vives ni trop faibles.

Quand on fait usage de ce mode d'expérimentation, il faut placer des crans en verre coloré devant la source lumineuse, ainsi qu'on l'a dit plus haut, afin que les surfaces éclairées aient la même teinte; cela est nécessaire pendant les premières minutes de l'observation des sulfures alcalino-terreux, mais 5 ou 10 minutes après l'insolation, suivant les corps, toute nuance est impossible à apprécier, bien que l'on puisse continuer pendant longtemps à comparer les intensités lumineuses.

Ce dernier résultat est très-curieux à noter, car il semble qu'à mesure que les intensités lumineuses s'affaiblissent, les traces de lumière que l'on perçoit, quelle que soit leur couleur, tournent toutes à la teinte rose.

J'ai opéré successivement avec les principaux sulfures dont le mode de préparation a été donné dans le chapitre I^{er}. Les deux tableaux apportés ci-après, comme exemples, renferment dans la première colonne les intensités lumineuses de la surface éclairée et par conséquent du sulfure. Ces intensités sont calculées en supposant qu'elles sont en raison inverse du carré des distances de la lampe à l'écran translucide, celle qui sert de point de départ étant prise pour unité.

Ces distances sont mesurées sur la poutre portant une règle en cuivre de mètres de longueur et divisée par millimètres. Dans plusieurs expériences

ces, ces distances dépassent 4 mètres; mais voici comment on les a obtenues : on a mis en avant de la lampe un écran de verre coloré absorbant la lumière sans changer sa nuance, et l'on a opéré rapidement de façon à avoir successivement deux évaluations de l'intensité lumineuse, l'une avec la lampe sans l'écran de verre, l'autre avec l'écran. Ainsi, dans l'expérience avec le sulfure vert de strontium, dont les résultats sont compris au 2^e tableau, après 29^m 30^e, la distance de la lampe sur la règle divisée était 385^c,70; après avoir mis l'écran absorbant, 30 secondes ensuite, il a fallu rapprocher la lampe jusqu'à 159^c,25; or, d'après l'expérience, comme on connaît, la loi d'extinction pendant ces 30 secondes, on peut calculer la distance réelle à laquelle il aurait fallu placer la lampe pour donner sans absorption la même intensité que la lumière de la substance phosphorescente; cette distance est 389^c, 25. Il ne reste plus ensuite qu'à déduire les autres valeurs d'après les nombres qui suivent le nombre 159^c,25, et d'après ce second point de départ l'on peut ainsi plus que doubler les distances que l'on mesure sur la règle divisée et aller jusqu'à 10 mètres pour la distance de la lampe à l'écran.

Quand on opère, on a soin d'éclairer avec la lumière solaire la surface phosphorescente; puis, à différentes reprises, on ferme l'ouverture du volet de la chambre noire par où vient le faisceau de rayons solaires, et l'on voit si au moment de la fermeture la lumière émise est de même intensité que celle de l'écran éclairé par transparence au moyen de la lampe placée plus ou moins près. Quand on a atteint ce point, on ferme tout à fait la chambre noire, puis on détermine de temps à autre à quelle distance il faut placer la lampe pour avoir l'égalité d'illumination des surfaces éclairées. On ne peut, au commencement de l'expérience, avoir une grande exactitude, surtout en raison de la difficulté de rendre la teinte de la lumière artificielle la même que celle de la lumière émise par phosphorescence; mais après la première détermination, les évaluations se font avec exactitude, comme le prouvent les expériences successives faites avec la même matière. Du reste, après quelques minutes, on peut suivre, même pendant longtemps, la diminution dans l'intensité lumineuse, mais les nuances des lumières émises par les différents corps sont impossibles à distinguer.

A côté de la colonne des intensités se trouvent les temps au moment des observations et le produit de ces deux quantités. Je me bornerai

iter quelques-uns des résultats obtenus avec le sulfure de calcium
nixeux bleu, et le sulfure de strontium lumineux vert (1).

Avec le sulfure de calcium phosphorescent bleu-vif, on a eu :

Intensité <i>l.</i>	Temps <i>t.</i>	Produit <i>lt.</i>
1	0"	0
0,076300	35	2,6700
0,034880	75	2,6160
0,026752	125	2,3440
0,017899	170	3,0430
0,011744	265	3,1122
0,007765	420	3,2614
0,006280	545	3,4220
0,004582	700	3,2078
0,003084	930	2,8683
0,002586	1110	2,8700
0,001993	1305	2,6056
0,001733	1525	5,6476
0,001488	1725	2,5668

Au delà de 28' 23" ou 1725" les observations ne peuvent plus se
continuer vu la faiblesse de la lumière émise.

Avec le sulfure de strontium lumineux vert, on a eu :

Intensité <i>l.</i>	Temps <i>t.</i>	Produit <i>lt.</i>
1	0"	0
0,028442	37	1,0523
0,010436	92	0,9601
0,006887	132	0,9091
0,003798	210	0,7976
0,002620	312	0,8174
0,001826	470	0,8562
0,001383	615	0,8507
0,000932	820	0,7643

1) *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 62.

SOURCES DE LUMIÈRE.

Intensité <i>i</i> .	Temps <i>t</i> .	Produit <i>it</i> .
0,000726	1005	0,7296
0,000609	1255	0,7643
0,000494	1515	0,7484
0,000338	1770	0,5997
0,000332	1800	0,5997
0,000220	2480	0,5471
0,000159	3180	0,5066
0,000117	4135	0,4850
0,000099	4780	0,4727

Au delà de 80 minutes ou 4780'' les teintes sont impossibles à comparer.

On reconnaît à l'inspection de ces tableaux que le produit de l'intensité de la lumière émise par le temps ne varie que dans des limites qui ne sont pas très-écartées; avec le phosphore qui se conserve plus longtemps lumineux, le sulfure bleu de calcium, ce produit n'augmente pas de plus de $\frac{1}{3}$ de sa valeur et présente un maximum après un temps de 9^m 5''. Avec le sulfure de strontium lumineux vert ce produit ne change que dans les limites de 1 à 2, alors que le temps varie de 0 à 4780 secondes. D'autres expériences, dont on ne rapporte pas ici les résultats, ont montré que les sulfures qui s'éteignent plus rapidement, comme le sulfure de calcium lumineux jaune, donnent pour ce produit un nombre qui diminue à mesure que le temps augmente. On a trouvé que les expériences diverses faites avec le même corps ne donnent pas pour le produit *it* un maximum au bout du même temps; mais comme l'intensité lumineuse qui sert d'unité varie dans chaque circonstance et dépend du degré d'activité de la substance et de l'intensité de la source qui sert de terme de comparaison, cette différence provenant du point de départ de l'expérience suffit pour expliquer les divers effets que l'on obtient.

On peut conclure de l'ensemble des différents résultats obtenus que lors de l'insolation des substances dont la persistance des impressions lumineuses est de longue durée, la loi de déperdition de la lumière n'est plus la même que celle des corps dont la persistance est courte, et cela très-vraisemblablement en raison de l'émission simultanée de rayons d'inégale durée. Je ne pense pas qu'elle puisse être représentée

sentée simplement d'une manière exacte par une formule ; mais pour avoir une idée de la vitesse avec laquelle l'extinction de la lumière a lieu, on peut supposer qu'entre certaines limites la formule empirique

$$i^m (c + t) = c$$

peut s'appliquer ; alors, d'après cette expression, la vitesse V de déperdition de la lumière serait :

$$V = \frac{di}{dt} = - \frac{i^{m+1}}{mc},$$

en supposant que l'intensité lumineuse au commencement de l'extinction soit prise pour unité.

Cette vitesse serait donc proportionnelle au rapport de $\frac{1}{m}$ et à la puissance $m + 1$ de l'intensité de la lumière émise. Comme m , d'après les expériences, est compris entre $\frac{1}{2}$ et 1, $m + 1$ se trouve compris entre $\frac{3}{2}$ et 2, et la vitesse d'extinction ne varierait pas tout à fait comme le carré de l'intensité lumineuse, mais plus vite que proportionnellement à cette intensité. Ce résultat indique que les corps qui ont une persistance de courte durée n'ont que des vitesses de déperdition proportionnelles à l'intensité, tandis que les corps à longue persistance donnent une vitesse d'extinction plus rapide ; on ne peut expliquer la longue durée pendant laquelle ils brillent que parce qu'ils reçoivent de la part de la lumière extérieure une plus grande somme d'action que les corps à persistance de faible durée.

On pourrait indiquer la vitesse de déperdition de la lumière par le tracé graphique de la courbe exprimant les relations qui existent entre le temps et l'intensité lumineuse, et par la recherche de la tangente à cette courbe. Mais la loi de déperdition n'étant pas simple, cette recherche ne m'a pas paru utile.

D'après la formule précédente, la quantité Q totale de lumière émise par le corps serait donnée par l'expression suivante :

$$Q = \int_0^{+\infty} i^m \frac{c}{1 - e_i} dt = \frac{c^m}{1 - m}$$

i_0 étant l'intensité lumineuse au commencement de l'observation. Mais, en raison des différences existant entre les nombres observés et ceux qui se déduisent du calcul, on ne peut songer à appliquer cette formule.

On a réuni dans le tableau suivant les valeurs de c et de m trouvées avec les sulfures alcalino-terreux, mais seulement à partir du moment où la formule exprime les résultats de l'expérience, c'est-à-dire après quelques minutes d'émission lumineuse.

CORPS PHOSPHORESCENTS.	LIMITES des observations.	VALEUR de l'exposant m .	VALEUR du coefficient c .
Sulfure de calcium rouge orangé.....	De 0' à 1'	0,500	12,40
Sulfure de calcium jaune orangé.....	De 0' à 5'	0,806	1,84
Sulfure de calcium lumineux { 1 ^{re} expér.	De 5' à 30'	0,580	21,60
vert. { 2 ^e expér.	De 5' à 18'	0,700	20,60
Sulfure de calcium lumineux bleu clair...	De 7' à 29'	0,800	9,53
<hr/>			
Sulfure de strontium lumi- { 1 ^{re} expér.	De 1'25" à 20'	0,800	6,40
neux vert. { 2 ^e expér.	De 8' à 22'	0,800	4,50
{ 3 ^e expér.	De 25' à 80'	0,806	2,83
Sulfure de strontium lumi- { 1 ^{re} expér.	De 6' à 10'	0,500	25,00
neux bleu violet. { 2 ^e expér.	De 2' à 9'	0,500	28,00
<hr/>			
Sulfure de barium lumineux vert.....	De 1' à 24'	0,660	4,50

Dans toutes les expériences précédentes l'unité de temps est la seconde.

On n'arrive pas au même nombre pour l'expression de m et de c dans les diverses déterminations faites avec une même substance ; ce résultat peut tenir non-seulement à ce que l'intensité de la source lumineuse n'est pas restée la même dans chaque série d'observations, mais encore aux erreurs d'observation dues à la difficulté avec laquelle les intensités lumineuses sont déterminées.

Les résultats précédents permettent de montrer de quelle merveilleuse faculté l'organe de la vision est doué et quelles sont les plus faibles intensités lumineuses qu'il puisse comparer ainsi que celles qu'il

ut distinguer. Prenons pour exemple l'effet obtenu avec le sulfure strontium lumineux vert :

L'intensité maximum de la lumière émise lorsque les rayons solaires frappent ce corps dans le phosphroscope a donné, comparativement la lumière émise par le phosphate d'urane, des rayons de même nature, mais dont l'intensité est les 0,027 de cette dernière; or, on a vu que le phosphate d'urane excité par les rayons solaires réfléchis donne une intensité lumineuse égale à 0,08 de la partie moyenne de la flamme d'une bougie : si donc on admet que la réflexion sur la surface métallique fasse perdre 0,30 de la lumière incidente, on voit que le sulfure de strontium, au moment où ayant été exposé à l'action des rayons solaires directs il est rentré dans l'obscurité, a un éclat qui est au maximum les 0,0031 de celui d'une bougie.

Or, on peut suivre dans l'obscurité la loi du décroissement de l'intensité lumineuse de ce corps pendant $1^h 19' 40''$ ou 4780 secondes, la formule

$$i^{0,806} (t + 2,83) = 2,83$$

ne nous rend pas suffisamment compte de ce décroissement; au delà on ne peut plus mesurer les intensités lumineuses, mais on peut encore voir la substance, qui continue à émettre de la lumière pendant longtemps; au bout de 30 heures cette substance est encore visible, et sans doute on pourrait distinguer quelques traces de lumière après un temps très long. Si l'on admet que la loi précédente s'applique encore à cet instant, on trouve que si après 4780 secondes l'intensité lumineuse mesurée est 0,0000989 de ce qu'elle était d'abord ou 0,000 000 31 par rapport à celle d'une bougie, après 30 heures cette intensité serait les 0,000207 de l'intensité première ou 0,000000067 de celle d'une bougie. En supposant que l'éclat du soleil soit 50000 fois celui d'une bougie, en prenant la lumière solaire pour unité, on voit que l'œil peut comparer des intensités lumineuses comprises entre des limites qui dépassent 1 et 10^{11} , et que lorsqu'un observateur est placé dans l'obscurité pendant quelque temps, il peut saisir encore de faibles traces lumineuses dont l'intensité est inférieure à une fraction qui aurait pour numérateur l'unité, et pour dénominateur l'unité suivie de 13 zéros, c'est-à-dire 10^{13} .

Ces résultats montrent combien on peut aller loin dans l'étude de la

lumière émise par les corps, même lorsque ces effets sont très-faibles, car l'organe de la vision, qui peut distinguer les différences les plus légères dans la composition de la lumière, est impressionnable entre des limites d'une étendue vraiment prodigieuse.

CHAPITRE III.

Réfrangibilité des rayons actifs : spectres phosphorogéniques. Action de la lumière électrique et des lumières artificielles.

§ 1. *Action des rayons de diverse réfrangibilité sur les substances phosphorescentes à la température ordinaire.*

Sulfures phosphorescents.

L'action des rayons de diverse réfrangibilité sur les substances phosphorescentes donne lieu à des effets très-remarquables. On reconnaît d'abord que les différentes parties du spectre solaire ne produisent pas des actions égales sur les substances impressionnables, et qu'il n'y a aucun rapport entre la couleur des rayons actifs et celle de la lumière émise. Pour vérifier ce fait, il suffit de prendre un fragment d'une matière très-phosphorescente, de le promener dans l'étendue d'un spectre très-concentré produit dans une chambre noire, puis d'examiner dans chacune de ses positions l'action lumineuse qui suit celle du rayonnement. On voit alors que le fragment s'illumine dans les rayons les plus réfrangibles ou dans les rayons violets, qui sont les rayons les plus actifs, et qu'il brille suivant sa couleur propre ; ainsi le sulfure de calcium orangé donne une lumière orangée, le sulfure vert donne une teinte verte, etc.... Les recherches faites dans le siècle dernier, et dont on a parlé dans le livre I^{er}, page 26, ont mis ce fait en évidence. Il y a plus, une partie du rayonnement lumineux détruit la phosphorescence produite, comme on l'a déjà indiqué pages 32 et 144, ou, en d'autres termes, détruit la modification acquise

est la partie la plus réfrangible du spectre. Cet effet, comme je l'ai montré et ainsi qu'on le verra plus loin, se manifeste depuis le bleu jusqu'au delà du rouge, c'est-à-dire dans la plus grande étendue de la partie visible de l'image prismatique et même au-delà (1).

Le mode d'expérimentation précédent ne peut permettre une détermination exacte des parties où les effets de lumière se produisent; je me suis servi alors d'un procédé qui est principalement applicable aux sulfures : il consiste à réduire en poudre fine les substances phosphorescentes et à faire tomber cette poudre à l'aide d'un tamis de soie sur un carton enduit d'une très-légère couche de gomme arabique. Au bout de peu de temps la matière est sèche, et l'on a une surface homogène qui est phosphorescente, et qui peut servir aux expériences sur les actions du spectre; elle conserve même pendant longtemps cette propriété, car la gomme qui entoure le sulfure empêche ce dernier de s'évaporer à l'air humide. Le sulfure vert de strontium, particulièrement, se conserve ainsi pendant plusieurs années; les sulfures de barium et de calcium s'altèrent plus vite; quant au sulfure de zinc (blende hexagonale), il ne peut subir aucune altération. Cette surface n'est pas aussi lumineuse que les substances en masse; cela tient à l'état de division des parties : mais en ayant soin d'opérer après que l'on est resté quelque temps dans l'obscurité, les effets lumineux sont suffisamment nets.

Pour agir avec un spectre lumineux, il faut que celui-ci ait une intensité suffisante pour permettre de bien apprécier les différents effets produits. On reçoit alors un faisceau de rayons solaires sur le miroir d'un héliostat, et on l'introduit dans l'intérieur de la chambre obscure par une ouverture de 1 à 2 millimètres de largeur sur 4 à 5 centimètres de hauteur; ce faisceau étant reçu sur un prisme de flint blanc dans la position du minimum de déviation, une lentille de 10 centimètres de foyer est placée de façon à donner un petit spectre très-concentré et très-lumineux, mais présentant nettement les raies noires; on peut avoir ainsi un spectre de 5 à 6 millimètres de largeur sur 4 à 5 centimètres de longueur, depuis la raie A du rouge jusqu'à la double raie H de l'extrême violet. C'est avec un spectre de cette étendue que l'on a opéré quand les substances ne sont pas très-phospho-

(1) *Constitution du spectre solaire*, *Biblioth. univ. de Genève*, 3^e série, t. 40, p. 341 (1842). — *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 9, p. 314 (1843). — *Ann. de chimie de physique*, 3^e série, t. 22, p. 244 (1848). — *Archives du muséum de Paris*, 1839.

rescentes; quand elles sont vivement impressionnables, on peut agrandir le spectre et opérer avec une image prismatique de 8 à 10 centimètres de longueur sur 1 centimètre de largeur.

Le mode d'expérimentation est très-simple : l'observateur, qui s'est tenu à l'obscurité depuis un quart d'heure ou vingt minutes, ouvre ou ferme lui-même l'ouverture du volet de la chambre noire; il faut qu'il soit placé de façon à ce que, ayant tenu les yeux fermés pendant que le spectre a agi durant l'espace de quelques secondes sur une surface enduite de matière phosphorescente, il examine la surface immédiatement après avoir fermé l'ouverture du volet : il voit alors quelles sont les parties qui sont devenues lumineuses après l'action du spectre. S'il veut connaître les espaces lumineux et leur position par rapport aux raies, il marque avec un crayon leurs limites, la position du maximum, etc., puis à la fin de l'expérience il trace également sur le papier la position des raies du spectre lumineux.

D'après ce mode d'expérimentation, on reconnaît trois genres d'effets produits sur les surfaces ainsi enduites de matières lumineuses, et pour bien étudier ces effets il faut opérer avec des sulfures de calcium, de strontium ou de baryum lumineux verts, et préparés avec les carbonates de ces métaux, comme on l'a dit plus haut.

1°. On observe après l'action du rayonnement que certaines parties sont devenues lumineuses avec une nuance qui est la nuance propre émise par la substance phosphorescente; mais, ainsi qu'on le verra plus loin, les parties du spectre dans lesquelles les effets sont observés varient en général avec les substances, et ne dépassent guère la raie F du bleu en remontant vers le rouge. Ces effets, qui vont en diminuant à mesure que l'on s'éloigne du moment où l'action du rayonnement a eu lieu, et qui durent plusieurs minutes pour certaines matières et plusieurs heures au moins pour d'autres, sont les effets de phosphorescence proprement dits.

2°. Si l'on impressionne à la lumière diffuse ou solaire toute la surface et que l'on vienne à y projeter rapidement un spectre très-intense, au bout de plusieurs secondes en fermant l'ouverture du volet et en examinant la surface, on trouve qu'elle est restée lumineuse, excepté à l'endroit frappé par le spectre, et que dans les parties les plus réfringibles, où le rayonnement excite la phosphorescence, l'intensité de la lumière émise a augmenté; mais depuis cette dernière partie jusque bien au delà du rouge, et dans toute la région frappée par les rayons

es moins réfrangibles, la surface est devenue complètement obscure. Cet effet prouve que cette partie du spectre détruit la phosphorescence. Mais cette destruction, comme je l'ai montré (1), ne se produit pas en rendant immédiatement obscure la matière phosphorescente, et si l'on fait usage de substances éminemment lumineuses, que l'on opère rapidement et que le spectre n'agisse que pendant une fraction de seconde ou même une seconde, toute la partie frappée par le spectre depuis l'extrême rouge jusqu'au delà du violet paraît lumineuse ; ce n'est donc qu'en prolongeant l'action du spectre pendant plusieurs secondes que la partie la moins réfrangible est devenue obscure. Ce fait n'a pu être observé, avec les matières faiblement phosphorescentes, mais l'analogie d'effets porte à croire que l'action a lieu également sur ces corps aussi bien que sur les phosphores très-impressionnables.

Ces résultats prouvent que des rayons qui détruisent la phosphorescence agissent à la manière de la chaleur ainsi qu'on l'a vu, livre III, p. 52, et font rendre aux corps lumineux pendant un espace de temps si courte durée toute la somme de lumière qu'ils auraient émise plus lentement dans l'obscurité.

3°. Un troisième genre d'effets a lieu lors de l'action du spectre sur ces matières phosphorescentes, et principalement sur les sulfures de strontium, de barium et de calcium. Je l'ai observé il y a plus de vingt ans, et voici comment il se trouve rapporté dans l'un des premiers mémoires faits sur ce sujet, en 1843 : « Un fait que j'ai souvent observé dans le cours de ces expériences, c'est que lorsque le spectre solaire frappe une substance telle que le sulfure de calcium phosphorescent, pendant son action le papier sur lequel est déposée cette substance paraît lumineux non-seulement de A en H, mais encore jusqu'en P, de sorte qu'on peut voir toutes les raies du spectre de A en dessinées par projection (2). »

J'ai attribué ce phénomène à un effet de phosphorescence à l'époque où je l'observai ; depuis, il avait été nommé effet de fluorescence et rapporté par M. Stokes à un changement dans la vitesse de vibration des rayons lumineux très-réfrangibles après que ces derniers ont frappé la surface des corps (3). Ce physicien a observé ces effets avec les corps qui ne donnent pas de phosphorescence quand on

(1) *Ann. de chim. et de physique*, 3^e série, t. 22, p. 344.

(2) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 9, p. 320 (1843).

(3) *Ann. de chimie et de physique*, t. 38, p. 491.

opère par les procédés ordinaires, et parmi lesquels on peut citer, comme on le sait, le bisulfate de quinine, le verre d'urane, une dissolution alcoolique de chlorophylle, etc. Nous verrons dans le paragraphe suivant que les matières qui présentent ces effets ne sont que des substances phosphorescentes vivement lumineuses dans les premiers instants qui suivent l'action de la lumière ou bien à l'instant où celle-ci agit.

Un fait qui vient à l'appui de cette explication, c'est qu'avec les différentes matières phosphorescentes le phénomène dont il s'agit donne une lumière de même nuance que la phosphorescence de longue persistance.

Les expériences de M. Stockes ont montré que ces effets lumineux produits par l'action des rayons de diverse réfrangibilité sur les corps, comme le bi-sulfate de quinine, le verre d'urane, etc., donnent toujours lieu à une émission de lumière de moindre réfrangibilité, ou d'une plus grande longueur d'ondulation que les rayons actifs. Mais c'est ce qui résulte également des effets de phosphorescence ordinaire, sauf lorsque l'on observe les actions des rayons les moins réfrangibles comprises dans le 2^{me} genre d'effets cités page 300; en effet, dans les rayons rouges, par exemple, on observe une émission de lumière de la nuance de celle qui est donnée par la matière lumineuse, verte ou bleue, et par conséquent d'une réfrangibilité plus grande. D'un autre côté, lors de l'action du spectre sur le sulfure de calcium, qui luit avec une teinte bleu violacé, la phosphorescence donne une lumière de même nuance que la partie active du spectre, et la matière offre l'exemple remarquable d'une substance impressionnable dont les vibrations sont pour ainsi dire à l'unisson des vibrations qui l'influencent.

En général la lumière émise par un sulfure phosphorescent est d'une seule teinte, quelle que soit la réfrangibilité des rayons actifs et la couleur de la lumière émise, et, sauf quelques exceptions, ne correspond pas à celle de ces derniers; cependant j'ai trouvé trois préparations qui font exception à cette règle, et qui offrent deux teintes différentes suivant la partie du spectre qui les impressionne :

1°. Le sulfure de baryum, obtenu lors de la réduction du sulfate de baryte par le noir de fumée, et phosphorescent jaune orangé, est lumineux jaune par l'action des rayons situés depuis H jusqu'en P; mais lorsque cette même substance est influencée par les rayons violets et bleu-indigo de F en H, la teinte émise par la même matière est plus rougeâtre.

2°. Le sulfure de calcium lumineux rouge-orangé provenant de la calcination des coquilles d'huitres, et qui donne une lumière rouge lorsqu'il est impressionné depuis le bleu F jusque bien au delà du violet en O, présente une trace de nuance verte quand la partie active du spectre est comprise entre O et P. Avec ce corps, on aurait pu attribuer l'effet produit à un mélange de deux sulfures phosphorescents, mais les notes présentées par la substance précédente et par celle qui suit ne peuvent être attribuées à une action de ce genre.

3°. La matière obtenue dans la réaction du sulfure de potassium sur les coquilles d'huitres calcinées et sur la chaux dans certaines circonstances (voir page 226) est lumineuse violette indigo dans la partie du spectre qui présente la même teinte; mais au delà du violet la couleur émise est bleue. J'insiste sur ce fait, car avec cette substance les vibrations sont à l'unisson de celles des parties actives de la lumière, ce qui n'a pas lieu ordinairement puisqu'en général les vibrations des corps phosphorescents sont moins rapides ou ont une longueur d'onde plus grande que celle des rayons actifs.

Actuellement, examinons quels sont les effets obtenus quand on opère successivement avec les différentes préparations de sulfures décrites dans le chapitre 1^{er} et prises comme types. Le mode d'expérience ayant été indiqué, on n'y reviendra pas; je ferai remarquer seulement que les effets des rayons agissant pour détruire la phosphorescence n'ont été étudiés qu'avec les matières les plus lumineuses, et dans les figures qui sont représentées ci-contre l'on a admis la limite extrême du côté du rouge pour tous les composés. Cela peut-être pas rigoureusement exact; mais puisque les trois sulfures de strontium, de barium et de calcium les plus lumineux ont présenté cet effet ainsi que le sulfure de zinc, il est permis de supposer qu'il a également lieu dans la plupart des cas. Si l'on veut reconnaître comment cette action des rayons, que l'on pourrait nommer rayons destructifs, il suffit, après l'action du spectre, d'élever la température d'un carton ou de la surface enduite de matière phosphorescente, et la partie sur laquelle la destruction de la phosphorescence a eu lieu reste obscure, alors que tout autour la surface devient lumineuse par la chaleur. Dans le livre IV, page 144, à propos de l'analyse de la lumière, on a déjà parlé de ces effets.

La Planche figure 32, annexée à cet ouvrage, donne la limite des effets de production et de destruction de la phosphorescence sur les sulfures al-

calino-terreux. Il y a un point sur lequel on doit encore appeler l'attention avant de donner la description des effets produits : on a supposé que la limite de la partie la moins réfrangible des rayons actifs bleus violets était la même que celle de la partie la plus réfrangible des rayons rouges jaunes et verts qui agissent pour détruire la lumière; mais cela peut avoir lieu dans quelques cas, le contraire peut se présenter, comme le prouve l'action exercée sur le sulfure de barium luminescent vert. Avec cette matière, ainsi qu'on l'indique sur le n° 4 de la planche, on trouve qu'en opérant de manière à produire la phosphorescence, les rayons actifs s'étendent presque jusqu'en F; mais si l'on impressionne toute la surface et qu'on cherche quelle est l'action destructive créée par les rayons les moins réfrangibles, on observe que la partie obscure s'étend depuis le rouge, et même au delà, jusqu'en F et le bleu indigo ou près de la raie G. Ainsi, suivant la manière d'opérer, la même partie du spectre FG produit ou détruit la phosphorescence, et les limites de ces deux genres d'actions ne sont pas les mêmes et empiètent l'une sur l'autre. La partie FG du spectre fait donc fonction de modérateur; elle rend lumineuse la substance qui ne l'est pas, mais celle-ci ne peut dépasser un certain degré au delà duquel les rayons agissent pour diminuer la lumière émise. D'autres sulfures ont également présenté cet effet; mais pour les observer il est nécessaire de se servir de matières très-lumineuses, sans cela le phénomène est assez difficile à distinguer.

Dans les figures, j'ai donc pris comme limites celles des rayons qui excitent la phosphorescence, et j'ai supposé que les rayons qui la détruisent commencent dans les parties qui sont immédiatement voisines. Les parties du spectres qui comprennent ces derniers rayons ne sont seulement représentées en noir; celles relatives aux rayons excitants sont colorées avec les nuances des couleurs de phosphorescence.

Le spectre solaire lumineux représenté en haut de la planche fig. 1 avec ses principales raies donne les parties correspondantes où les effets de phosphorescence ont lieu. On a figuré dans la partie infra-rouge la place où se trouve l'espace inactif cité livre IV, page 144.

Les six premières images de spectres du n° 1 au n° 6 se rapportent aux expériences faites avec les six principaux types de sulfure de magnésium phosphorescent citées page 236; avec toutes ces préparations, et les n° 2 et 3, les effets de phosphorescence sont produits par les rayons situés au delà du violet, et le maximum d'action se trouve entre le

URE DE STRONTIUM



Fig. 32

N et O. La préparation n° 2, faite avec la strontiane caustique et le CaO chauffés au-dessous de 500 degrés, et lumineuse jaune, donne l'action assez vive en M et P, mais qui se prolonge en s'affaiblissant beaucoup jusque vers F.

Avec la préparation n° 3, obtenue par la réaction du soufre sur les carbonates de strontiane, et qui est la plus lumineuse des sulfures de strontium, il y a deux maxima d'action : le premier vers G, l'autre vers O et N; on obtient donc deux taches lumineuses, l'une comprise entre F et H, l'autre depuis I jusqu'au delà de P, l'intervalle HI restant obscur. Cette préparation met en évidence un fait assez curieux, relatif à la phosphorescence ne durant que pendant un temps très-court : lorsque cette préparation est faite de façon à ce que sa couleur vue par diffusion à la lumière du jour soit jaune soufre (voir p. 234), elle donne une belle phosphorescence verte, mais en outre elle produit, pendant l'action du spectre, une très-belle lumière de couleur nuance entre G et P, et même entre H et I dans une région où la phosphorescence après l'insolation n'est pas appréciable. Si cette substance est calcinée davantage, elle prend de plus en plus de densité, elle perd sa teinte propre vue par diffusion; et quoiqu'elle soit impressionnable entre les mêmes limites, donnant lieu à deux maxima d'action, et présentant la même nuance verte par phosphorescence, elle devient de moins en moins lumineuse pendant l'action des rayons situés entre H et I, et peut même cesser complètement de produire cet effet. Ce résultat montre que l'arrangement moléculaire qui existe sur les effets lumineux pendant l'action des rayons, c'est-à-dire sur les effets de phosphorescence à courte durée, et qui donne lieu à la couleur de la matière vue par diffusion, est indépendant de celui qui produit la phosphorescence proprement dite ou l'émission lumineuse de longue durée. Cet effet est à signaler, et l'on verra plus loin qu'on l'observe également avec d'autres substances; il prouve que l'action de rayons de diverse réfrangibilité peut exciter des vibrations de même nature dans un corps phosphorescent, les unes se conservant pendant un temps assez long, les autres pendant un temps beaucoup plus court.

La préparation n° 4, obtenue, comme on l'a dit, avec le sulfure d'aniline, donne une très-belle lumière jaune orangé de G en I même sans l'influence des rayons actifs, et en examinant la substance pendant l'action du spectre, quand il tombe sur la surface enduite de cette matière, on voit la teinte du violet du spectre lumineux passer au rouge.

La préparation n° 2 donne également de G en I, pendant l'action des rayons, une lumière de même nuance que la phosphorescence observée après la fermeture du volet de la chambre noire, et la couleur du violet du spectre tourne également au rouge.

La préparation n° 4, obtenue au moyen du soufre et du carbonate de strontiane dans certaines conditions, présente, sous l'influence des rayons actifs, un faible effet lumineux de même teinte bleuâtre que la phosphorescence; de plus, une traînée de lumière se prolonge assez loin au delà de P.

La préparation n° 5, qui est obtenue par la réduction des cristaux de sulfate de strontiane au moyen du charbon, et qui donne la même phosphorescence bleuâtre, présente à peine de faibles traces de lumière dans les conditions que l'on vient d'indiquer; il en est de même du n° 6.

On voit donc qu'en général ces composés présentent des effets de phosphorescence à très-courte durée et plus ou moins forts, indépendants de la phosphorescence de longue durée, mais de même teinte que cette dernière.

Les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, sur les figures, indiquent les limites des parties où la phosphorescence est produite. Les flèches marquent la position du maximum d'action, et les traits en face des lettres *a*, *b*, *c*, *d*, les parties où l'action lumineuse commence à décroître rapidement. On voit, d'après ces limites, que c'est à peu près dans les mêmes parties du spectre que la phosphorescence est généralement excitée, si ce n'est lorsqu'on observe deux maxima d'action. Mais il arrive alors, comme avec le sulfure de calcium, que le deuxième maximum, ou le plus réfrangible, est situé dans la partie *cd* du spectre qui influence même les composés de strontium faiblement lumineux, et représente, pour ainsi dire, la partie la plus stable de la portion excitatrice du spectre; le premier maximum, placé dans la partie excitatrice *ab*, ne s'est présenté accidentellement qu'avec le phosphore lumineux vert.

Quant aux parties du rayonnement où la destruction de la phosphorescence à lieu, elles sont comprises en général dans la portion visible du spectre et même au delà; la région où l'action est la plus énergique, et où la tache noire sur les surfaces lumineuses commence à paraître, est placée dans l'orangé entre les lignes A et D. On a supposé la même limite du côté le moins réfrangible, ce qui est sensiblement vrai avec les différents sulfures; mais la limite la plus réfrangible peut varier de position, comme on l'a dit antérieurement.

On a vu livre IV, page 144, comment à l'aide de ces phénomènes j'avais pu distinguer quelques bandes inactives en deçà du rouge, c'est-à-dire dans la partie infra-rouge; une de ces bandes est seulement indiquée en haut de la planche; on la suppose la même dans toutes les figures.

Les quatre images spectrales qui suivent les précédentes expriment les effets observés quand le spectre solaire agit sur des surfaces enduites de sulfure de barium phosphorescent; comme avec le sulfure de strontium, les n^{os} 1, 2, 3, 4 correspondent aux numéros des préparations citées page 239.

Quand on examine l'ensemble de ces figures, on est de suite conduit à cette remarque, que ces diverses préparations n'offrent toutes qu'un seul maximum d'action bien manifeste pour les rayons qui excitent la phosphorescence, maximum qui est situé entre les raies M et I, à la place indiquée par les petites flèches.

La trace lumineuse qui résulte de l'action des rayons actifs s'étend en général depuis F jusque bien au delà de P. Avec la préparation n^o 1, lumineuse rouge orangé, il y a diminution de lumière de P en O, mais sans limite tranchée comme lorsqu'il s'agit des sulfures de strontium et de calcium, pour lesquels les parties actives du spectre sont nettement séparées par des bandes obscures. Entre H et G il y a seulement indice d'une diminution du même genre.

Avec la préparation n^o 2 phosphorescente jaune d'or, la trace lumineuse due à l'action du rayonnement s'étend également depuis F jusque bien au delà de P; mais avec le sulfure provenant de la réduction du sulfate de baryte naturel la teinte de la lumière émise n'est pas la même de F en H ou de H en P. De F en H elle tourne au rouge, et de H en P elle reste jaune. Quand la matière a été obtenue par le carbonate provenant de l'acétate de baryte traité par le carbonate de soude, entre O et P la lumière diminue d'intensité comme avec la préparation n^o 1; mais à côté de H, entre H et G, il y a encore un indice bien net d'une diminution d'effet, de sorte qu'il y a deux maxima et deux minima d'action bien manifestes, l'un entre H et G donnant une teinte orangée, l'autre entre M et I donnant une teinte jaune. Au delà de N se trouve une traînée lumineuse, qui présenterait un troisième maximum si elle était plus forte. Entre H et I et entre M et N sont les deux minima. Entre M et N la teinte est même un peu rougeâtre, suivant les échantillons préparés.

On doit noter en outre que si l'on examine la surface pendant l'action lumineuse des rayons incidents, entre H et G la partie du spectre paraît violette rose.

La préparation n° 3, obtenue par l'action du soufre sur la baryte caustique, donne un maximum d'action entre M et I à la même place que les préparations précédentes; l'étendue de la partie lumineuse ne remonte pas au delà de G, peut-être en raison de la faible impressionnabilité de la matière, mais elle se prolonge au delà de P, comme avec les autres préparations.

Le n° 4, obtenu par la réaction du soufre sur le carbonate de baryte, et qui est lumineux vert jaunâtre, est avec le n° 2 un des composés de barium qui par phosphorescence donne la lumière la plus vive. L'action excitatrice s'étend jusque près de F et va bien au delà de P. Le maximum d'action a lieu également entre les raies I et M; mais entre O et P il semble que la surface phosphorescente soit un peu moins lumineuse que de chaque côté, en sorte qu'il y a une apparence de minimum d'action; entre H et G à peine s'il y a trace d'une diminution d'effet du même genre. Avec cette matière, il est facile d'observer les effets des rayons qui excitent la phosphorescence et de ceux qui la détruisent; on trouve alors que les limites des deux actions ne sont pas représentées par une seule et même ligne, mais qu'elles empiètent l'une sur l'autre entre *a* et *f*, comme il a été dit plus haut.

Ces différentes préparations du sulfure de barium, et surtout les deux premières, offrent d'une manière très-remarquable les effets de phosphorescence à période très-courte; la lumière émise, comme avec toutes les autres substances, est de même teinte que celle qui est produite lors de la phosphorescence de longue durée. De G en H la teinte des couleurs prismatiques change même et tourne au rouge; au delà la couleur de la lumière émise est la même que celle de la phosphorescence. Ce sont, du reste, ces sulfures de barium et quelques préparations de strontium qui présentent le plus énergiquement le phénomène de phosphorescence à très-courte durée. Le sulfure de calcium, comme on va le voir, peut présenter également des effets du même genre, mais d'une manière moins marquée.

On n'a pas représenté sur la planche fig. 32 l'effet produit avec le sulfure de barium obtenu par la réaction du persulfure de potassium sur la baryte et sur d'autres préparations; en général, l'action s'étend jusqu'en F et va bien au delà de P. Quoique les limites des parties actives du

Ces courbes sont un peu plus différentes que sur les substances précédentes, les différences sont de l'ordre de grandeur de celles que l'on observe sur celles-ci; d'un autre côté, les effets de phosphorescence à courte durée ont été peu marqués.

Les images spectrales qui viennent après celles-ci sont relatives à l'action exercée par le spectre solaire sur les principales préparations de sulfure de calcium qui sont mentionnées page 231. Il y a plus de différence entre les effets obtenus qu'en faisant usage des sulfures précédents, et l'action dans la partie lumineuse ne paraît pas dépasser G, si ce n'est pour les préparations n^{os} 1 et 5. Trois des préparations offrent une seule tache lumineuse : ce sont les préparations 1, 2, 6, lumineuses rouge, orange et violet; les trois autres, qui brillent avec les teintes verte, vert-bleuâtre et indigo, offrent deux traces lumineuses et dès lors deux maxima d'action.

La préparation n^o 1, lumineuse rouge orangé, a son maximum d'action entre G et H et est impressionnée entre F et P. C'est la matière phosphorescente qui est impressionnable le plus près des rayons les moins réfringibles. Ainsi qu'on l'a dit page 303, la teinte lumineuse présente une trace de vert, entre O et P, peut-être en raison d'un mélange de sulfure phosphorescent vert dont le maximum de phosphorescence se trouve dans cette partie du spectre.

La préparation n^o 2, lumineuse jaune, obtenue à l'aide du spath Islande et du soufre, est impressionnable assez vivement depuis N jusqu'au delà de P; de N jusque vers G il y a indice d'une action lumineuse très-faible; ainsi, sauf cette dernière action, les rayons fortement excitateurs pour cette matière sont situés en dehors du violet du spectre, avec leur maximum d'action entre O et P.

La préparation n^o 3, obtenue lors de la réaction du soufre sur l'arranite de Vertaison, offre deux traces lumineuses *ab*, *cd*, la première comprise entre G et H, s'arrêtant brusquement près de G et avant H, la seconde allant de N au delà de P et se terminant moins brusquement; cette dernière a son maximum d'action, comme la précédente préparation, entre O et P. Entre H et M il n'y a aucun effet produit. La deuxième tache lumineuse *cd*, produite par l'action du spectre, est beaucoup plus vive et plus étendue que la première.

La préparation n^o 4, obtenue par la réaction du soufre sur le carbonate de chaux dans certaines conditions, et lumineuse vert légèrement bleuâtre, offre des effets du même genre : il y a deux espaces lumineux

sur la surface impressionnable; le premier *ab* a les mêmes limites G et H que la préparation précédente, en se rapprochant un peu plus de H; la seconde *cd* est plus étendue qu'avec le sulfure n° 3 et va jusqu'en M; mais le maximum d'action est à la même place que précédemment, entre O et P.

La préparation n° 5, qui est phosphorescente couleur bleue indigo, et que l'on obtient lors de la réaction du persulfure de potassium sur la chaux dans certaines conditions, présente des effets très-remarquables lors de l'action du spectre. On observe d'abord deux espaces lumineux, et par conséquent deux maxima d'action : le premier, *ab*, est plus étendu que le premier espace lumineux correspondant aux autres sulfures, et commence à peu de distance de F pour se terminer au delà de H, quoique très-près de cette ligne; avec la préparation n° 4, au contraire, le premier espace lumineux est moins étendu que le deuxième, et l'action la plus vive a toujours lieu néanmoins entre G et H. Mais l'effet le plus curieux que présente cette matière, c'est, ainsi qu'on l'a dit plus haut, page 303, que la partie *ab* est lumineuse violet indigo par phosphorescence et absolument de même teinte que la partie du spectre qui l'impressionne, tandis que la portion *cd* est bleuâtre. Ainsi ce sulfure jouit de la propriété de présenter deux teintes par phosphorescence après l'action de la lumière, et cela suivant la réfrangibilité des rayons actifs.

En opérant avec un petit fragment de ce sulfure phosphorescent, au lieu d'agir avec un carton enduit uniformément de matière, on arrive à la même conclusion, et même l'expérience est plus frappante : en plaçant ce fragment dans la partie GH du spectre, il devient lumineux violet indigo; en le faisant pénétrer dans la partie OP, il ne tarde pas à devenir bleu. En opérant même avec deux fragments dont l'un est placé en GH, l'autre en OP, la différence des teintes qu'il manifeste est bien sensible; en alternant alors les deux fragments, celui qui était violet devient bleu, et l'autre devient violet.

Quant à la sixième préparation phosphorescente violet, elle ne donne lieu qu'à un seul espace lumineux allant de M au delà de P avec le maximum toujours entre O et P; mais on observe une traînée lumineuse au delà de P, et se prolongeant dans la partie la moins réfrangible depuis M jusque vers G. Les préparations 1 et 2 ont présenté un effet du même genre.

Si l'on opérait avec le sulfure de calcium provenant d'autres réactions et obtenu, ainsi qu'on l'a dit dans le 1^{er} chapitre, on verrait que l'é-

L'étendue des parties actives du spectre peut varier, mais qu'en général il y a deux régions impressionnées et par conséquent deux maxima d'intensité; souvent la région impressionnée la moins réfrangible est plus faible et peut même manquer; mais la deuxième région ou la plus réfrangible est ordinairement comprise entre M et P et va au delà de P. Ainsi, pour le sulfure de calcium, comme pour le sulfure de strontium, la partie la plus réfrangible du spectre représente la région la plus stable de la portion du rayonnement qui excite la phosphorescence, et le maximum d'intensité est situé dans le spectre entre O et P; cette partie active est la même pour les préparations 2, 3, 4 et 5, et se trouve plus éloignée du violet que celle où se manifeste l'action exercée par le sulfure de strontium.

Les préparations de sulfure de calcium ne présentent pas des effets de phosphorescence de courte durée aussi marqués que celles faites avec les sulfures de strontium et de barium. La préparation n° 1, lumineuse rouge orangé, ne m'a pas paru produire d'effet bien net. Les préparations analogues à celles du n° 4 ont donné quelquefois ces effets, mais probablement quand le sulfure n'a pas été calciné trop vivement. J'ai observé que les préparations lumineuses violet et verdâtre, obtenues lors de l'action de l'hydrogène sulfuré ou des sulfures sur la chaux, produisent ce phénomène d'une manière plus marquée que les autres préparations. Je citerai notamment l'antimonio-sulfure de chaux (voir page 226), qui au delà de H, entre H et I, donne une lumière jaunâtre dans une partie du spectre où l'action excitatrice de la phosphorescence persistante est très-faible.

On peut expliquer, par l'étendue des parties actives du spectre, un fait observé antérieurement : c'est que le phosphore de Bologne est plus lumineux sous l'action de la lumière du soir que le phosphore de Canton, tandis que ce dernier est plus brillant quand la lumière solaire directe l'a frappé. En effet, le phosphore de Canton (sulfure de calcium) est principalement impressionnable dans les rayons ultra-violet qui manquent en partie dans la lumière diffusée le soir; d'un autre côté, la partie FH du spectre qui influence le sulfure de barium n° 2 (phosphore de Bologne) se trouve dans la lumière diffuse : il en résulte que celle-ci excite proportionnellement plus le second phosphore que le premier.

Dans ces recherches on s'est servi de prismes de flint blanc, parce que le spectre présentant toutes ses raies était obtenu avec une grande

pureté. En employant un prisme de spath fluor ou de quartz, la partie ultra-violette est proportionnellement plus étendue, mais il est fort difficile d'obtenir au moyen de lentilles faites avec ces matières des spectres dont les lignes noires soient bien nettes.

Le sulfure de zinc hexagonal, comme on l'a vu chapitre I^{er}, page 240, est aussi phosphorescent que les sulfures précédents les plus lumineux, et se prête très-bien à l'étude de l'action du spectre solaire; on n'a pas figuré sur la planche les positions des parties actives, mais il est facile de les indiquer : quand le spectre agit sur la surface qui n'a pas été préalablement impressionnée, on ne trouve qu'une seule partie lumineuse après l'insolation, s'étendant depuis une partie située près de F et égale à $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{7}$ de la distance GF, jusque vers P; il n'y a donc qu'un seul maximum d'action entre G et H au $\frac{2}{3}$ de la distance GH.

Les rayons qui détruisent la phosphorescence s'étendent depuis F jusqu'au delà de A, et vont même peut-être un peu plus loin de ce côté que ceux qui agissent sur les autres sulfures; c'est pour ce motif qu'on peut employer cette matière pour l'étude de la partie la moins réfrangible du spectre, et ainsi qu'on l'a dit page 144.

Ces résultats montrent que chaque sulfure, et même chaque préparation de sulfure, se comporte différemment par rapport au rayonnement solaire, c'est-à-dire est sensible entre des limites différentes de réfrangibilité. Ils sont relatifs aux effets qui se manifestent à la température ordinaire; lorsque la température du corps est différente, les effets du spectre peuvent varier, comme on le verra dans le chapitre VI.

En se servant d'autres matières il en est encore de même : ainsi avec un fragment de potasse caustique, un très-petit spectre d'une grande vivacité donne entre le bleu et le violet, et même au delà, une impression de peu de durée, le maximum d'action phosphorescente paraissant être entre G et H; le papier sec présente des effets du même genre.

On voit qu'il y a autant d'effets divers et de limites différentes des rayons actifs du spectre qu'il y a de substances impressionnables; mais quant aux trois genres d'effets produits, 1^o phosphorescence persistante pendant un temps plus ou moins long, 2^o dans quelques cas phosphorescence à très-courte-durée, 3^o extinction de la phosphorescence, ils se manifestent nettement avec les substances bien lumineuses; il est à présumer que ces trois genres d'effets peuvent avoir lieu également à un plus faible degré avec les matières beaucoup moins impressionnables. On voit en outre, qu'avec des rayons ultra-violets, c'est-à-dire avec des

rayons obscurs, on produit de la lumière, puisque les sulfures deviennent phosphorescents sous leur influence, et qu'ensuite en faisant tomber sur eux des rayons lumineux on détruit cette faculté et que ces corps redeviennent obscurs.

Écrans transparents. — On peut expliquer aisément à l'aide de ces résultats quels sont les effets produits par les écrans transparents et incolores comme le verre et comme certains liquides, quand ces écrans sont interposés entre la source lumineuse active et les matières phosphorescentes; on trouve alors que ces matières brillent plus ou moins ou même redeviennent obscures. C'est ce qui arrive avec les sulfures de calcium, de barium et de strontium, placés à la lumière solaire sous des écrans de créosote ou de bisulfate de quinine; ces matières non seulement ne deviennent pas lumineuses, mais s'éteignent quand elles ont préalablement excitées.

Or on verra dans la deuxième partie de cet ouvrage (1) que ces écrans sont transparents parce qu'ils laissent passer les rayons compris entre ses réfrangibilités A et H du spectre solaire, c'est-à-dire les rayons qui passent sur la rétine, mais qu'ils peuvent agir par absorption sur les rayons ultra-violetts. Ces derniers rayons étant ceux qui excitent principalement la phosphorescence, celle-ci ne peut donc pas se produire, même si les sulfures sont rendus préalablement actifs, il s'éteignent immédiatement, car la quantité des rayons qui excitent la phosphorescence et qui traversent l'écran est moins grande que celle des rayons qui la détruisent.

Raies du spectre solaire. — Puisque les différents effets lumineux, chimiques, phosphorescents, produits sous l'influence de la lumière, sont à l'action d'un seul rayonnement et ne varient que suivant la nature des corps soumis à son influence, on doit donc retrouver dans les images spectrales obtenues sur les corps phosphorescents les mêmes raies obscures que l'on observe aux mêmes places dans le spectre lumineux comme on le verra dans la deuxième partie, les mêmes que celles que l'on trouve dans les impressions spectrales photographiques.

Pour démontrer ce fait à l'aide de ces phénomènes (2), j'ai agrandi l'image du spectre solaire par projection, car sans cela on ne peut distinguer les raies sur les surfaces phosphorescentes. On peut expliquer

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 9, p. 319.

(2) *Biblioth. univ. de Genève*, nouv. série, t. 40, p. 363 (1842).

ce résultat en remarquant que lors de l'action lumineuse les premières parties du corps phosphorescent qui sont frappées agissent comme sources lumineuses pour impressionner les points voisins, de sorte que l'action excitatrice n'est pas exactement limitée à la place directement éclairée par les rayons incidents. J'ai agi alors avec une image prismatique qui, si elle avait été prise dans toute son étendue, aurait eu au moins 2 mètres de longueur; à cet effet, au lieu de recevoir immédiatement le spectre par projection au foyer d'une lentille de 60 cent. à 1^m de distance focale sur une surface enduite d'une matière vivement phosphorescente, on place sur la route des rayons qui ont traversé cette lentille, une seconde lentille de 1 décim. de foyer au plus, de façon que le foyer de la première lentille tombe entre le foyer et la surface de la seconde; alors, de l'autre côté de celle-ci on a quelque part un spectre bien agrandi; en promenant donc la seconde lentille dans toutes les parties du spectre primitif, puis en cherchant par projection avec un carton blanc quel est le lieu de l'image, on a un spectre dans lequel les raies sont larges et bien distinctes; en le recevant sur la surface enduite de matière phosphorescente, on retrouve les mêmes raies que dans le spectre lumineux et que dans les impressions photographiques pour les parties de même réfrangibilité.

Pour étudier convenablement ces raies, on reçoit pendant quelques secondes le spectre sur la surface, puis on referme l'ouverture du volet; et l'on porte immédiatement la température de la surface à 150 ou 200° alors les parties qui ont reçu l'impression des rayons actifs deviennent fortement lumineuses, tandis que les autres portions correspondant aux raies obscures restent totalement noires. Les raies sont faciles à distinguer de cette manière dans les rayons les plus réfrangibles, mais plus difficiles à voir dans les rayons les moins réfrangibles, car elles sont moins distinctes.

Corps phosphorescents, visibles seulement dans le phosphoroscope. — Quand on éclaire successivement les corps placés dans le phosphoroscope par les différents rayons du spectre solaire, on peut reconnaître quelles sont les parties actives sur les corps qui n'offrent qu'une faible persistance à l'impression que la lumière exerce sur eux. Voici les effets observés avec plusieurs substances :

Limites du spectre solaire
entre lesquelles l'action est comprise.

Spath d'Islande, phosphorescent rouge orangé.	}	D'un côté en D dans le jaune, de l'autre en G dans le bleu. Le maximum d'action est près de F dans le bleu.
Leucophane, phosphor. rouge orangé.		D'un côté en D, de l'autre près de H dans le violet. Le maximum d'action est vers F.
Double cyanure de platine et de potassium, phosph. blanc légèrement vert-jaunâtre.	}	D'un côté près de E dans le vert, de l'autre entre G et H. Le maximum d'action est entre F et G.
Verre ordinaire (tube), phosphorescent vert.		D'un côté dans le vert près de E, de l'autre vers H. Maximum près de G, entre G et H.
Nitrate d'urane, phosphorescent vert.	}	D'un côté près de F, de l'autre jusqu'en P, très-loin au delà du violet. Le maximum d'action paraît entre G et H.

Il est évident que l'on trouve des effets du même ordre que ceux qui se manifestent avec les sulfures alcalino-terreux, puisque chaque substance est impressionnable entre des limites différentes de réfrangibilité; le spath d'Islande, par exemple, n'est pas lumineux en dehors du spectre, tandis que le nitrate d'urane donne des effets bien au delà des rayons violets. En outre, la teinte de la lumière émise dépend du corps impressionnable, et nullement de la réfrangibilité de la partie active de la lumière, puisque le spath n'émet que des rayons orangés, et cela par l'influence de la partie verte et bleue du spectre, tandis que le nitrate d'urane ne donne que de la lumière verte sous l'influence des rayons violets et ultra-violet. Au reste, dans le chapitre suivant, on citera un grand nombre d'effets de ce genre obtenus avec différentes matières.

On peut mettre le même fait en évidence en se servant d'écrans de verre coloré que l'on dispose devant l'ouverture extérieure du phosphoroscope; si l'on place un écran de verre jaune clair, qui ne laisse passer que la partie la moins réfrangible du spectre jusqu'au bleu, le spath d'Islande placé dans l'intérieur de l'appareil est seulement un peu moins lumineux que sans l'interposition de cet écran, tandis que le nitrate d'urane brille très-peu; avec un verre bleu de cobalt foncé, le spath d'Islande est au contraire à peine lumineux, mais le nitrate d'urane brille très-vivement; ces effets dépendent, comme avec les sulfures alcalino-terreux, de la réfrangibilité des rayons actifs.

On n'a pu reconnaître jusqu'ici s'il y a des parties du spectre qui agissent de manière à présenter une persistance inégale dans l'impression exercée par la lumière, mais il sera facile de pouvoir étudier de

nouveau ces effets. Il en est de même de l'étude que l'on pourra faire pour savoir si la partie la moins réfrangible agit sur certains corps comme sur les sulfures alcalino-terreux, c'est-à-dire en sens inverse des autres rayons, et pour détruire l'effet produit par les rayons les plus réfrangibles.

§ 2. *Phosphorescence de très-courte durée; effets présentés par les corps organiques comme le bisulfate de quinine, l'esculine, la chlorophylle, etc..., exposés à l'action des rayons violets et ultra-violetts du spectre.*

On a vu dans le paragraphe précédent, page 304, que l'action des rayons ultra-violetts sur les sulfures phosphorescents pouvait donner lieu à une émission de lumière de très-courte durée après l'action du rayonnement; ces phénomènes peuvent avoir également lieu en projetant l'image prismatique sur des matières solides comme certains spaths fluors, sur du verre d'urane, ou sur des liquides comme les dissolutions de bisulfate de quinine, de chlorophylle, matières qui ne présentent pas habituellement la phosphorescence quand, par la fenêtre d'une chambre noire, on n'a recours qu'à une simple exposition à la lumière et qu'on les rentre rapidement dans l'obscurité.

M. Brewster (1) est le premier qui ait étudié les effets de coloration de ce genre dans les cristaux de spath fluor du Derbyshire, donnant sous certaines incidences des nuances bleues plus ou moins vives, différentes de la couleur propre de la matière, ainsi qu'avec plusieurs dissolutions organiques. En 1845, M. J. Herschell (2) chercha à expliquer ces effets en admettant qu'il se produisait à la surface de certains corps une diffusion, qu'il nomma diffusion épipolique. En 1852 (3) M. Stokes analysa ces phénomènes, et crut pouvoir les expliquer en les rapportant à une nouvelle propriété de la lumière. D'après ce physicien, certains rayons lumineux, en tombant sur les corps qui donnent lieu à ces effets de coloration, changent de réfrangibilité, c'est-à-dire de longueur d'onde, et donnent lieu à une diffusion différente de celle qui se produit

(1) *British assoc. fort. the avanc. of. scienc.* (1838). — *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. 38, p. 376.

(2) *Philos. transact.*, 1845, p. 143 et 145. — *Ann. de chimie et de physique*, t. 38, p. 378.

(3) *Philosoph. trans.*, 1852, p. 463. — *Ann. de chimie et de phys.*, 3^e série, t. 38, p. 490.

ans les conditions ordinaires; cette diffusion avait reçu depuis le nom **e fluorescence**.

Pour observer ces phénomènes on peut simplement promener le **ong** d'un spectre solaire suffisamment pur pour que l'on puisse voir les **ifférentes** raies noires, et suffisamment intense, un tube cylindrique **lein** d'une dissolution de sulfate acide de quinine, ou bien une dissolution **lcoolique** de chlorophylle. Si l'on part du rouge extrême en marchant **ers** le violet, on n'observe rien de particulier tant qu'on n'est pas arrivé **out** près de l'extrémité la plus réfrangible du spectre; la lumière passe **sans** modification à travers le tube. Mais un peu avant d'atteindre l'**extrême** violet, on voit apparaître une lumière bleue avec le sulfate de **quinine**, et rouge avec la chlorophylle. Cette lumière est diffusée par la **première** surface du tube et ne disparaît pas lorsque le tube a **dépassé** l'extrémité violette du spectre; elle se trouve en conséquence dans les **rayons** invisibles, de façon qu'un assez grand espace situé au delà **du** violet peut ainsi être successivement illuminé dans ces diverses **parties**, absolument comme avec les sulfures alcalino terreux décrits dans le **paragraphe** précédent. Ces rayons ultra-violet se transmettent dans les **liquides**, et l'on peut opérer aussi bien par transmission que par **réflexion**, si la dissolution est peu colorée.

Quand on opère par réflexion, on se borne à placer les dissolutions **dans** une petite cuve en verre mince dont la face antérieure est plane; si le **corps** est solide, on agit directement sur sa surface. Avec les **matières** qui fixées sur un papier ou sur un carton donnent les mêmes effets, ce **mode** d'expérimentation est très-facile. Le bisulfate de quinine est **dans** ce dernier cas, puisqu'une feuille de papier ou de carton blanc **enduit** d'une légère couche de ce composé présente les mêmes effets **qu'une** dissolution de ce sel (quand on fait cette préparation il est **préférable** de dissoudre le sulfate de quinine ordinaire dans de l'eau légèrement **acidulée** par l'acide tartrique, au lieu d'employer l'acide **sulfurique**; car le papier enduit d'une dissolution même très-faible d'acide **sulfurique** se colore en jaune brun à la lumière).

En opérant ainsi on voit sur ces surfaces des effets analogues à ceux **que** l'on observe sur les surfaces enduites de sulfures alcalino-terreux, **et** l'on a une prolongation de l'image prismatique au delà du violet; en **même** temps les raies de la partie ultra-violette sont vues avec grande **netteté**, ainsi qu'on l'a déjà dit dans le livre IV.

M. Stokes a indiqué un moyen de reconnaître quand certaines sub-

stances présentent des effets de ce genre même dans les parties lumineuses du spectre, ce que l'intensité des rayons directs ne permet pas de voir immédiatement.

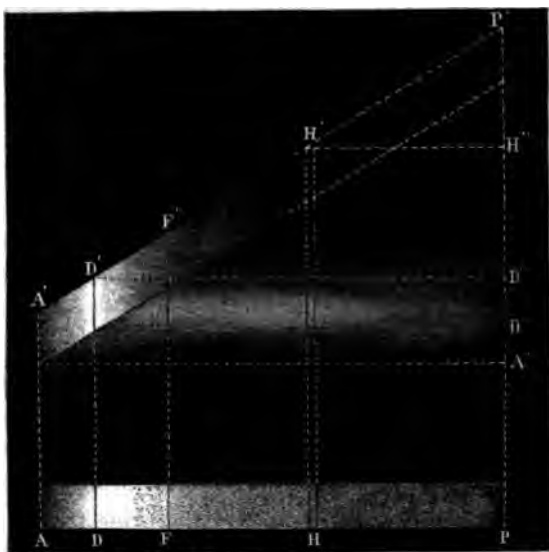


Fig. 33.

On fait arriver un spectre horizontal, bien intense et étroit, sur la substance à éprouver : soit AP ce spectre, fig. 33, A étant le côté rouge et P l'extrémité la plus réfrangible ; A, D, H, P représentent les lignes noires du rouge, du jaune, du violet et de l'ultra-violet. On le regarde à travers un second prisme à arêtes horizontales. Si la substance ne fait que réfléchir irrégulièrement la lumière incidente, on voit seulement à travers le second prisme l'image du spectre relevée et inclinée à l'horizon en $A'D'H'$, comme dans l'expérience connue sous le nom d'expérience des prismes croisés de Newton. Mais s'il se produit à la surface de la substance un phénomène du genre de celui que l'on observe sur les matières sensibles, alors les parties rendues actives du spectre AP envoient vers le prisme des rayons moins réfrangibles que les rayons incidents ; ainsi au point H du spectre horizontal AP on verra à la fois et les rayons réfléchis qui se réfractent en H' , et les rayons émis en vertu du phénomène particulier que l'on étudie, et qui étant moins réfrangibles vi-

nent se réfracter seulement au-dessous de H' entre A' A'' et H' H''. Chaque groupe de rayons séparés par le prisme dans le sens vertical produit une sorte de spectre linéaire, et l'ensemble de ces spectres linéaires présente l'apparence d'un spectre unique très-large horizontal D' D'', mais moins intense que A' H'. S'il y a des points du spectre AP où la lumière incidente ne produise aucun effet, à ces points correspondront des bandes obscures verticales. M. Stokes a nommé ce spectre spectre dérivé. Comme les rayons qui le composent sont compris entre les réfrangibilités A et H, cette image horizontale sera comprise d'une part entre A' A'' et de l'autre entre H' H''.

Cette méthode a fait connaître qu'un très-grand nombre de substances, surtout de matières organiques végétales ou animales, donnent lieu à une émission de rayons d'une autre réfrangibilité que celle des rayons incidents quand elles sont éclairées par les rayons colorés du spectre solaire. Ainsi, indépendamment de certains échantillons de spath-fluor comme ceux du Derbyshire, des composés d'uranium et des platino-cyanures dont on parlera dans le chapitre suivant, ainsi que des dissolutions de quinine, d'esculine, de chlorophylle produisent ces effets à un très-haut degré; la dissolution de bois néphrétique, dont l'apparence à la lumière n'avait pu être expliquée (1), donne un effet de même genre. On peut citer parmi les substances actives les plus communes les verres, diverses espèces de bois, le liège, la corne, les eaux, l'ivoire, les coquilles, le cuir, la peau, etc. Les métaux ainsi que le charbon, le soufre, le quartz, etc., ne donnent aucun effet. Le papier blanc est très-sensible, car l'on sait qu'il est très-phosphorescent; la craie offre peu d'action: aussi une surface enduite de cette matière donne un spectre où les couleurs sont vues presque entièrement par diffusion.

M. Stokes, comme on l'a dit plus haut, avait rapporté ces phénomènes à une diffusion particulière, qui avait reçu le nom de fluorescence. Cette explication a dû être abandonnée ainsi que la dénomination de fluorescence, car les effets dont il s'agit ne sont autres que des effets de phosphorescence, qui dans quelques cas ont une durée extrêmement courte. Il résulte néanmoins de l'étude faite par M. Stokes que les rayons émis par les corps rendus lumineux dans les circonstances dont il s'agit sont dans des conditions différentes de celles des rayons incidents, et ont toujours une longueur d'onde plus grande que celle de ces

(1) Herschell, *Traité d'optique*, trad. franç., t. 2, p. 322.

derniers, c'est-à-dire que la lumière émise par le corps est au plus de même réfrangibilité et en général moins réfrangible que la lumière incidente; ce résultat est analogue à celui auquel m'a conduit l'observation des phénomènes beaucoup plus généraux de phosphorescence.

Aussitôt après la publication de ces résultats, je ne doutai pas que les effets lumineux dont il était question ne fussent analogues à ceux dont j'ai parlé plus haut, et qui se produisent lorsque les rayons violets et ultra-violetts viennent agir sur les corps phosphorescents, mais seulement pendant un temps très-court. Mais comment démontrer l'émission lumineuse par un corps en vertu de son action propre, et cela pendant un intervalle de temps très-petit? C'est en réfléchissant ainsi aux différents moyens propres à prouver l'identité des effets de fluorescence avec ceux de phosphorescence que je fus conduit à la construction du phosphoroscope que j'ai décrit précédemment page 247 et suivantes.

Actuellement, cette conclusion paraît tellement évidente qu'il est inutile d'insister longuement sur sa démonstration : les corps tels que le verre, les rubis, les spinelles, les diamants, le fluorure de calcium, les composés d'uranium, le platino-cyanure de barium, qui donnent lieu à une émission lumineuse quand la lumière violette et ultra-violette les frappe, présentent une émission de lumière semblable dans le phosphoroscope alors qu'on les voit après l'action lumineuse; bien plus, si au moyen d'un prisme et d'une lunette on analyse la lumière émise comme on le verra dans le chapitre suivant, on trouve une composition identique dans les deux cas.

La plupart des corps qui donnent lieu à ces effets deviennent lumineux dans le phosphoroscope, et il n'y a que quelques dissolutions organiques qui ne paraissent pas visibles; il semble donc que dans les liquides la durée de la persistance des impressions lumineuses soit bien plus petite que dans les corps solides. Ainsi un petit écran en quartz rempli de chlorophylle ou de bisulfate de quinine ne paraît pas visible avec le maximum de vitesse de rotation que l'on peut donner aux disques du phosphoroscope.

D'un autre côté, dans les rayons violets et dans le phosphoroscope on peut quelquefois observer une émission de rayons de couleur différente : ainsi un morceau de papier enduit de bi-sulfate de quinine, puis desséché, est lumineux dans cet appareil, mais avec une lumière jaunâtre différente de la lumière bleue obtenue dans les rayons les

plus réfrangibles. Le double cyanure de platine et de potassium est lumineux avec une belle teinte bleue dans les rayons ultra-violet ; dans le phosphroscope il présente une teinte blanche légèrement jauneverdâtre. Il est facile de prouver que cette différence tient à ce qu'il se manifeste sur ces corps une double action analogue à celle qui se produit sur le diamant et sur le fluorure de calcium, et comme on le montre dans le chapitre suivant. En effet, en plaçant dans le phosphroscope quelques cristaux de double cyanure de platine et de potassium, on trouve dans le spectre, ainsi que cela a été indiqué dans le tableau de la page 315, que l'action lumineuse jaunâtre ne se montre que depuis le vert jusqu'au violet et n'a nullement lieu au delà du violet ; or, c'est au delà du violet que la lumière bleue si vive se manifeste. Ainsi, avec ce corps l'action que le phosphroscope accuse est donc autre que celle produite par la partie ultra-violette du spectre solaire, ou du moins correspond à une émission de rayons d'une plus longue persistance ; jusqu'ici les appareils n'ont pu permettre de déterminer la durée de la persistance de l'action lumineuse qui donne lieu à ce dernier effet.

Il est possible qu'en ayant un phosphroscope qui permette d'obtenir une limite inférieure beaucoup plus éloignée on parvienne, par la mesure du temps qui sépare l'action lumineuse du moment de l'observation, à déterminer la durée de la persistance de l'impression exercée par la lumière sur les corps tels que ceux qui ont été cités plus haut, à moins que cette durée ne soit au-dessous de toute limite d'observation, ou même qu'il y ait des corps qui ne soient seulement en vibration que pendant l'action lumineuse. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus avec tous les autres corps ainsi qu'avec les sulfures alcalino-terreux, qui présentent également ce phénomène, montrent que ces différents effets lumineux ne tiennent pas à une propriété nouvelle de la lumière, à une diffusion particulière, comme le croyaient M. J. Herschell et M. Stokes, mais rentrent dans les effets de phosphorescence ou d'émission lumineuse par action propre des corps, puisqu'ils peuvent même durer après l'action de la lumière excitatrice ; ils n'en diffèrent donc que par le temps pendant lequel l'impression produite par la lumière peut se conserver.

§ 3. *Action des écrans colorés et de diverses sources lumineuses; action de la lumière électrique; tubes à air raréfié avec matières phosphorescentes.*

On a vu dans le paragraphe premier, page 313, qu'on explique facilement les effets produits par l'interposition des écrans blancs et transparents placés sur la route des rayons lumineux avant leur action sur les corps phosphorescents, par ce motif que ces écrans laissent plus ou moins bien passer la partie ultra-violette du spectre.

D'après les mêmes motifs on se rend aisément compte des effets produits par les écrans colorés : si l'on emploie des lames de verre colorées en rouge, orangé, jaune ou vert, lames qui arrêtent presque totalement les rayons les plus actifs pour exciter la phosphorescence, on ne voit rien de bien manifeste, si ce n'est dans des circonstances spéciales qui seront indiquées dans le chapitre IV, en employant le phosphoroscope ou bien quand on agit avec les sulfures-alcalino terreux, ces écrans laissant traverser les rayons qui détruisent la phosphorescence comme on l'a expliqué précédemment, page 300 ; mais si l'on se sert d'écrans en verre coloré en bleu foncé par le cobalt ou de teinte violette, ces écrans laissent passer les rayons les plus réfrangibles qui excitent vivement la phosphorescence ; et comme ils arrêtent en même temps les rayons colorés les plus intenses, l'observateur peut percevoir quelques-uns des phénomènes lumineux dont on a parlé précédemment, et cela pendant l'action du rayonnement et sans être dérangé par la coexistence des rayons bleus et violets qui agissent faiblement sur la rétine. On n'a pas besoin alors d'avoir recours à la partie ultra-violette de l'image prismatique, et les substances vivement phosphorescentes manifestent leur action au milieu d'un faisceau de rayons qui ont traversé ces écrans.

Pour opérer aisément, on concentre dans l'intérieur d'une chambre noire, à l'aide d'une lentille, un faisceau de rayons solaires qui a préalablement traversé un écran de verre violet fixé au volet, et l'on place au delà du foyer, dans le faisceau divergent des rayons violets, les corps que l'on veut étudier. Toutes les parties qui ne donnent lieu à aucune action paraissent violettes par la diffusion des rayons incidents, mais les matières qui sont douées de phosphorescence deviennent plus ou moins vivement lumineuses, et émettent des rayons colorés qui dépendent de leur nature et de leur état physique, de la même manière que si elles étaient placées dans la partie ultra-violette du spectre.

Si l'on place dans ce faisceau divergent des diamants, certains d'entre eux deviennent bleus; d'autres, qui ne sont pas phosphorescents, restent avec la couleur violette foncée de la lumière incidente. Les platino-cyanures s'illuminent avec leur couleur de phosphorescence; si l'on fait usage d'un vase rempli d'une dissolution de bisulfate de quinine, ce vase paraît d'un beau bleu, et la lumière propre qu'il émet forme un contraste frappant avec la lumière violette qui est diffusée par les objets placés autour; une dissolution alcoolique de chlorophylle un peu étendue est rouge; l'huile de colza semble verdâtre; un vase d'urane paraît d'un beau vert; enfin, on observe les mêmes effets que ceux qui ont été décrits dans le paragraphe précédent. Le faisceau lumineux cesse-t-il de frapper les corps, comme la durée de la persistance des impressions que la lumière exerce sur eux est fort petite, ils deviennent presque instantanément obscurs.

Si au lieu de ces matières on dispose sur la route des rayons violets des tubes remplis de sulfures alcalino-terreux phosphorescents, et principalement des sulfures de strontium vert, et de barium orangé, non-seulement des effets analogues ont lieu pendant l'action de la lumière, mais encore ils persistent dans l'obscurité pendant un temps plus ou moins long dépendant du degré de persistance des impressions lumineuses sur ces matières.

On peut tracer des dessins sur du papier avec une dissolution étendue de sulfate de quinine dans l'eau acidulée par l'acide tartrique, et quand le papier est sec, à la lumière blanche, ces dessins ne sont pas visibles. Lors qu'ils sont placés dans le faisceau de lumière violette, ils deviennent plus lumineux que le reste de la surface, et leur couleur bleue très-vive forme un contraste frappant avec la teinte violette foncée que prend le papier. Si l'on trace des dessins semblables ou des bandes à l'aide d'une solution de gomme arabique sur des écrans en papier, en carton ou en verre placés préalablement dans une position horizontale, et qu'au moyen d'un petit tamis on fasse adhérer sur la surface gommée des sulfures alcalino-terreux pulvérisés, principalement les deux sulfures que je viens de citer (sulfure de strontium lumineux vert, et sulfure de barium lumineux orangé), une fois la gomme sèche, on peut placer les écrans dans le faisceau des rayons violets, et les dessins apparaissent illuminés en vert ou en orangé, suivant la couleur de la matière employée.

Je citerai encore une expérience qui est fort curieuse : elle

consiste à disposer au volet d'une chambre noire, ou de la lanterne ~~de~~
d'un appareil photo-électrique, un écran en verre violet, E, fig. 34, ainsi

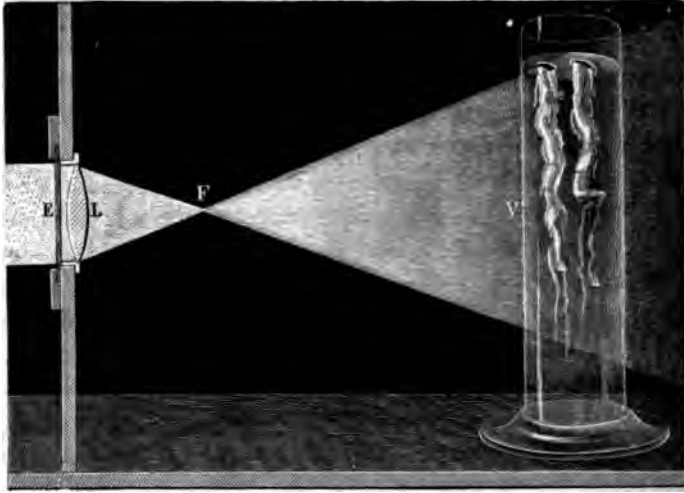


Fig. 34.

qu'une lentille, L, et à exposer dans le faisceau de rayons violets formé
au delà du foyer F de la lentille, un vase V rempli d'eau, sur lequel
on fait flotter quelques fragments d'écorce de tige de maronnier d'Inde
(*æsculus pyhocastanea*). L'esculine que renferme l'écorce commence à
se dissoudre dans l'eau, et l'on voit aussitôt des traînées bleuâtres assez
vivement lumineuses, qui accusent la présence de cette matière, et
descendent verticalement dans l'eau, dont la teinte est plus sombre et dont
la couleur est violet foncé comme celle du faisceau des rayons incidents.
Si au bout de quelques instants on agite l'eau, l'esculine se
mélange à toutes les couches, et le vase entier prend la teinte bleue
due à l'émission de la lumière par action propre, ce qui prouve
qu'une très-petite quantité de cette substance suffit pour donner à l'eau
son pouvoir de phosphorescence.

Ces expériences diverses faites avec le faisceau de lumière violette
sont très-frappantes, et sont répétées surtout dans les cours en raison de
leur facilité de disposition et par ce motif que l'on peut substituer aux
rayons solaires les rayons émanés de l'arc voltaïque, c'est-à-dire des
lampes photo-électriques.

Les différentes lumières ont donc une activité qui dépend de leur

composition et de leur intensité. A composition égale, l'intensité seule flue ; aussi la lumière de la lune agit-elle moins énergiquement que la lumière solaire, mais elle illumine néanmoins d'une manière assez sensible les sulfures alcalino-terreux. Ainsi les matières phosphorescentes sont donc bien plus impressionnables par la lumière que les thermomètres ne le sont sous l'action des rayons calorifiques, car les rayons lunaires, comme on l'a dit au commencement de cet ouvrage, ne donnent pas d'effet thermométrique appréciable dans les conditions ordinaires.

Les lumières artificielles, principalement celles qui donnent lieu à la émission de rayons très-réfrangibles, peuvent être très-actives. Tel est le cas de la lumière émise lors de la combustion du soufre dans l'oxygène. Pour produire cette réaction, comme on l'indique fig. 34 bis. on place dans une petite coupelle un fragment de soufre que l'on enflamme et que l'on plonge au milieu d'une cloche remplie d'oxygène ; la combustion devient très-vive, et il se manifeste une lumière bleue donnant lieu aux différents effets qui viennent d'être cités.



Fig. 34 bis.

La lumière donnée par la lampe au magnésium, dont il a été question page 111, est également très-active ; sous l'action de cette dernière les sulfures alcalino-terreux deviennent phosphorescents comme dans la partie ultra-violette du spectre.

D'après les mêmes motifs les flammes des lampes formées avec de l'alcool tenant en dissolution différents sels métalliques seraient plus ou moins actives suivant la réfrangibilité des éléments qu'elles renferment. Quand on veut employer ces sources lumineuses, soit pour ces expériences soit pour d'autres effets, on fait brûler le mélange liquide dans une lampe dont le support de la mèche est à double courant d'air et la mèche cylindrique, et dans le tube central on fait arriver un courant d'oxygène, qui active la combustion et donne une grande vivacité à la lumière.

La source lumineuse artificielle la plus active, en raison des éléments très-réfrangibles qu'elle renferme, est la lumière électrique, soit elle émanée de l'arc voltaïque, soit celle des étincelles électriques, qui donne les effets les plus énergiques que l'on puisse produire ; les

effets qu'elle présente, et surtout les effets produits par les décharges des condensateurs, ont donné lieu à des recherches très-intéressantes.

Pour soumettre les corps à l'action des décharges électriques, on les place sur la tablette de l'excitateur universel quand ils sont en fragments, ou dans des tubes s'ils sont en poussière, de manière à ce que l'extrémité des conducteurs soit à une distance de 2 à 3 centimètres. On fait passer ensuite de l'un à l'autre conducteur, très-près du corps, la décharge d'une batterie électrisée avec une machine électrique. Lorsqu'on veut agir avec une série de décharges, on fait communiquer les deux tiges de l'excitateur aux deux extrémités d'une forte bobine d'induction de Ruhmkorff comme celle représentée fig. 28 bis, page 204, en fixant également des fils qui touchent à ces deux branches aux armatures intérieures et extérieures d'une forte jarre; de cette manière on peut avoir au moins 2 décharges par seconde, et même plus, c'est-à-dire de 100 à 200 décharges par minute.

Si l'on fait passer une décharge électrique sur un morceau de craie, tout l'appareil étant situé dans une chambre noire, et l'observateur ayant l'attention de tenir les yeux fermés avant l'expérience et de ne les ouvrir qu'au moment où il entend éclater l'étincelle, il aperçoit immédiatement après, sur le trajet parcouru par elle, une traînée lumineuse diversement colorée qui peut durer une minute. Un fragment de sulfate de baryte donne une lumière verte brillante; l'acétate de potasse, le sucre, l'acide succinique produisent des effets semblables, mais plus durables. Les phosphores artificiels donnent des effets très-brillants, et produisent les nuances qu'ils prennent après leur exposition à la lumière solaire, et même pour eux il n'est pas besoin d'exciter l'étincelle aussi près de leur surface; à quelque distance l'effet est le même quoiqu'il soit moins intense.

J'ai déjà parlé, livre III, page 51, des phénomènes que pouvait produire la décharge, et j'ai indiqué quelles sont les modifications permanentes que prennent certains corps comme le spath-fluor, la chaux phosphatée et le diamant; j'ai dit que ces effets provenaient de l'action lumineuse, et non pas d'un choc ou d'un effet moléculaire particulier produit par l'électricité. Seulement, comme l'intensité lumineuse est très-forte surtout quand les décharges éclatent à la surface des corps, sous l'influence on peut rendre phosphorescents des corps qui ne donneraient pas des effets appréciables dans les conditions ordinaires après leur exposition à la lumière solaire, ou même après leur exposition à la lu-

mière émanée de l'arc voltaïque formé entre des conducteurs en charbon.

Ce résultat a été mis hors de doute au moyen des expériences faites par mon père, puis à l'aide de celles qu'il a faites conjointement avec M. Biot (1). On sait que les sulfures alcalino-terreux, qui sont phosphorescents par insolation, redeviennent obscurs quand on les échauffe dans l'obscurité ; l'étincelle électrique excitée à distance, dans les conditions qui viennent d'être indiquées, leur rend instantanément cette propriété quand elle éclate à peu de distance. Mon père et M. Biot ont opéré principalement en se servant de coquilles d'hutres calcinées avec du soufre, c'est-à-dire de sulfure de calcium. Quand on fait éclater ainsi successivement plusieurs d'entre elles, l'intensité de la lumière émise augmente jusqu'après plusieurs décharges, puis l'effet se reproduit toujours le même avec le même corps. Il provient sans doute de ce que le temps pendant lequel l'action excitatrice se manifeste ne suffit pas pour leur donner le maximum d'effet. Il serait même possible, d'après ce qui a été dit dans le chapitre II, d'arriver à pouvoir estimer par les expériences de ce genre le temps de la durée d'une décharge.

L'excitation phosphorique a même lieu, mais à des degrés plus ou moins marqués, quand on interpose entre la décharge et les matières phosphorescentes des écrans incolores ou colorés de diverse nature. Afin de faire la comparaison des effets produits, MM. Becquerel et Biot ont placé au-dessus de ces sulfures, des écrans mixtes formés par des lames de verre et de matières comme la chaux sulfatée ou le cristal de roche, lames mastiquées par un de leurs bords, de façon à ce qu'une de leurs surfaces se trouvât dans le même plan. En excitant la décharge au-dessus de la ligne de séparation, une moitié de la décharge donne de la lumière qui traverse une des substances, l'autre moitié envoie des rayons qui n'arrivent au sulfure de calcium qu'après avoir traversé l'autre écran. Ils ont ainsi trouvé que le quartz et la chaux sulfatée limpide laissent très-bien passer la partie du rayonnement qui produit la phosphorescence de ce sulfure, tandis que le verre blanc en arrête une partie ; entre les deux premiers corps, la chaux sulfatée paraît être plus transparente pour les rayons actifs que le quartz qu'ils ont employé. Ils ont trouvé également que le quartz enfumé se laisse traverser mieux que le verre par ces rayons et presque aussi bien que le quartz limpide. Ils ont

(1) Becquerel, *Traité de physique appliquée à l'histoire naturelle*, t. 2, p. 150. — *Archives du Muséum d'histoire naturelle*, 1839, t. 1, p. 215.

pu conclure de leurs recherches que la portion du rayonnement qui influence le sulfure de calcium phosphorescent se comporte différemment, par rapport aux écrans incolores, que celle qui agit sur la rétine. On a vu, dans les deux premiers paragraphes de ce chapitre, que l'étude prismatique a pu conduire à la même conclusion, et que l'on pouvait même spécifier les parties actives du rayonnement lumineux pour les différentes matières impressionnables.

Lorsque la décharge d'une batterie éclate dans l'air, l'intensité rayonnante de l'étincelle est plus grande à la pression ordinaire que dans ce gaz raréfié. C'est que j'ai démontré (1) en faisant passer simultanément la décharge d'une même batterie dans deux ballons disposés comme des excitateurs, et renfermant la même matière phosphorescente ; en faisant le vide dans l'un, l'effet produit par la décharge se trouve diminué.

Pendant, dans l'air raréfié la lumière électrique a une teinte violacée qui indique la présence d'éléments très-réfrangibles pouvant exciter la phosphorescence des matières impressionnables. Cette remarque m'a conduit à faire usage d'une nouvelle disposition (2) pour étudier les phénomènes de phosphorescence dus à l'action de la lumière électrique, et qui consiste à appliquer à l'électricité le principe qui a servi de base à la construction du phosphoscope ; pour atteindre ce but, on raréfie l'air à 1 ou 2 millimètres de pression dans des tubes de verre de 2 à 3 centimètres de diamètre environ, et de 40 à 50 millimètres de longueur, et dans lesquels on a introduit les substances phosphorescentes, soit en fragments, soit en poudre. La figure 35 représente plusieurs tubes AB, A'B', A''B'', A'''B''', supportés par des pieds isolants en verve et disposés de manière à pouvoir être électrisés simultanément. Aux extrémités de ces tubes ont été soudés préalablement des fils de platine qui, sortant au dehors, touchent aux douilles en cuivre A, B, A', etc. La partie effilée qui se voit sur la droite, près des extrémités, sert à raréfier l'air dans le tube avec une machine pneumatique et à sceller le tube. On peut alors faire passer isolément ou simultanément au travers de ces tubes, maintenus horizontalement, des décharges électriques provenant soit d'une machine électrique ordinaire, soit d'une batterie, soit d'un appareil d'induction.

En opérant dans l'obscurité à l'aide de la décharge d'une batterie,

(1) *Archives du Muséum*, 1839, t. 1, p. 215. — Becquerel, *Traité de physique*, t. 2, p. 161. — *Comptes rendus de l'Acad.*, t. 8, p. 403.

(2) *Ann. de physique et de chimie*, 3^e série, t. 55, p. 93 (1857).

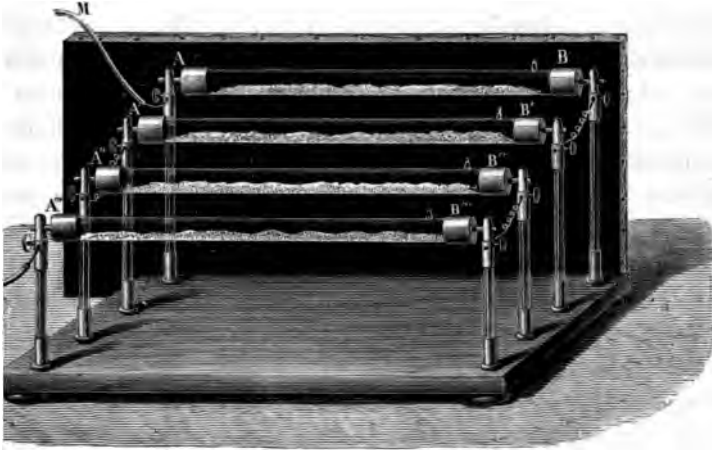


Fig. 35.

l'effet très-brillant, mais de courte durée, et ensuite la matière phosphorescente émet de la lumière pendant un temps plus ou moins long suivant sa puissance de phosphorescence. Si l'on fait usage de la décharge continue d'une machine électrique ou d'un appareil d'induction, les décharges électriques qui traversent l'air raréfié du tube, et qui produisent des rayons lumineux très-réfrangibles ont une teinte violacée ou rougeâtre, en passant très-près de la surface des corps excitent la phosphorescence de ces derniers au plus haut degré; non-seulement pendant le passage les substances phosphorescentes conservent pendant un certain temps la propriété de luire comme si on les eût exposées à la lumière solaire, mais encore pendant ce passage même elles sont lumineuses d'une manière continue, et cela avec une intensité d'autant plus grande que l'action électrique est plus énergique. Cet effet tient à ce que les matières étant excitées à chaque instant par les décharges qui se produisent à des intervalles très-courts, émettent de la lumière non-seulement à l'instant où elles sont impressionnées, mais encore après; la durée de la persistance de l'impression que la lumière exerce sur elles est en général plus grande que l'intervalle qui sépare deux décharges consécutives: ce motif et la persistance des impressions lumineuses sur la rétine rendent continu l'effet lumineux perçu par l'observateur.

Il se manifeste donc, à l'aide de cette disposition, des effets analo-

gues à ceux que l'on observe dans le phosphoroscope, si ce n'est que les décharges électriques remplacent les éclats intermittents que la lumière solaire produit en pénétrant dans cet appareil. D'un autre côté, ce mode d'expérimentation est éminemment propre à montrer l'action exercée par la lumière sur les corps dans lesquels la durée de la persistance de l'impression lumineuse ne subsiste que pendant un temps très-court, tels que le bisulfate de quinine, le double cyanure de platine et de potassium, etc., et que le phosphoroscope ne peut accuser. L'électricité n'agissant que comme source lumineuse, on voit que ce mode d'expérimentation donne principalement l'effet des rayons les plus réfrangibles.

En plaçant dans les tubes les sulfures alcalino-terreux décrits dans le chapitre 1^{er}, on obtient, pendant le passage des décharges électriques, des effets lumineux des plus brillants, et pour ainsi dire toutes les nuances prismatiques suivant les matières que l'on emploie; Ainsi le sulfure de calcium orangé donne, dans le tube, une belle couleur rouge, dont la teinte est un peu différente de celle émise par le sulfure après l'action lumineuse, en raison de la couleur violacée des rayons électriques eux-mêmes qui se mélange à la couleur orangée du corps. Le sulfure de strontium vert (obtenu avec le carbonate de strontiane ou par la réduction du sulfate), le sulfure de calcium vert légèrement bleuâtre ainsi que le sulfure de strontium bleu-violet, obtenu par l'action du soufre sur la strontiane anhydre, présentent des effets d'une grande puissance. Je signale ces quatre préparations, car pendant le passage de l'électricité la nuance des rayons électriques qui se mélange à celle que donne le corps fait que les tubes offrent des teintes orangées, vertes, bleues et violettes d'une grande netteté. En plaçant parallèlement à côté les uns des autres plusieurs tubes faisant partie du même circuit, comme le représente la fig. 35, ou bien en les faisant traverser par les décharges d'un puissant appareil d'induction, on peut, comme on l'a dit plus haut, les éclairer simultanément.

On pourrait également préparer des tubes ou des œufs électriques de plus grandes dimensions, et fixer avec de la gomme sur une partie de leur surface intérieure les substances phosphorescentes, et alors, tout en n'employant que peu de matière, on pourrait produire les effets lumineux dont il s'agit sur une plus grande étendue.

La quatrième préparation, le sulfure de strontium lumineux bleu violet, présente en outre cet effet remarquable, qui du reste va être indiqué

plus loin, qu'en abaissant sa température à $- 20$ degrés, il donne une nuance violette plus belle; à $+ 70$ degrés, il paraît verdâtre, et en chauffant le tube vers 200 degrés la lumière émise serait jaune orangé. Ainsi la chaleur seule modifie l'état physique de ce sulfure.

L'effet lumineux est en général plus énergique près du pôle négatif, mais cette différence dépend de la substance phosphorescente; avec le sulfure de calcium orangé, elle est moins manifeste qu'avec le sulfure de strontium vert, où elle est très-marquée. Ce résultat tient à ce que les rayons qui impressionnent les différentes substances sont inégalement réfrangibles, et à ce que plus cette réfrangibilité est grande, plus l'inégalité d'action près des pôles est grande, puisque près du pôle négatif la couleur de l'arc est plus bleue que partout ailleurs. On observe également, par ce mode d'action, que le verre des tubes devient phosphorescent pendant le passage de l'électricité comme dans le phosphoscope, et les rayons qu'il émet se mélangent à ceux qui proviennent de la matière phosphorescente; ceux qui proviennent de l'action directe des décharges électriques modifient également, ainsi qu'on l'a dit plus haut, la nuance que la matière présente quand elle est lumineuse seule.

J'ai observé qu'il n'était pas nécessaire que les tubes fussent munis de fil de platine pénétrant à l'intérieur pour que les décharges se succédassent et que les substances fussent rendues lumineuses; il suffit d'appliquer sur les deux extrémités d'un tube à air raréfié et enfermant un sulfure phosphorescent deux anneaux métalliques communiquant aux deux fils d'un appareil d'induction, pour que des décharges intérieures éclairent ce sulfure, quoique à un degré plus faible que lorsque les fils de platine pénètrent dans l'intérieur du tube. Ce phénomène très-curieux me paraît tenir à ce que la surface du verre conduit légèrement l'électricité, et à ce que le passage alternatif de ce courant sur le tube donne lieu à des décharges induites dans l'intérieur qui se manifestent par des rayons électriques et encore mieux par l'illumination des matières impressionnables. Le fait suivant me paraît appuyer cette manière de voir: si l'on rend la surface du verre plus conductrice en insufflant de l'air humide, l'effet lumineux intérieur augmente d'intensité. Ces résultats permettent de placer des corps dans l'intérieur de tubes contenant de l'air raréfié, et de les soumettre à l'action de l'électricité sans l'intermédiaire d'aucun fil métallique.

En mettant dans les tubes des substances telles que des petits tubes

SOURCES DE LUMIÈRE.

rmés remplis d'une dissolution de chlorophylle, de bisulfate de quinine, ainsi que du nitrate d'urane et des cristaux de double cyanure de potassium et de platine, on obtient des effets lumineux de couleur rouge, bleu clair, verte, et bleue, mais seulement pendant le passage de l'électricité; car lorsque l'action lumineuse cesse, ces matières redeviennent immédiatement obscures, comme on l'a expliqué dans le paragraphe précédent, ce qui n'a pas lieu avec les sulfures phosphorescents

Aujourd'hui on prépare ainsi pour les cours de tubes de formes très-diverses.

On se sert aussi de tubes à air raréfié dont certaines parties sont en verre d'urane et prennent une vive teinte verte au moment du passage de l'électricité; l'on forme avec ces tubes des circuits plus ou moins variés et même des lettres. La figure 36 représente un tube dont on a déjà parlé à propos de la lumière électrique, et dans lequel les petites boules intérieures, qui sont en verre d'urane, deviennent lumineuses vert, au moment du passage des décharges électriques.

On a dit antérieurement, page 178, que la lumière électrique dans le vide avait pu être utilisée dans certains cas spéciaux, comme par exemple pour la construction de lampes à l'usage des mineurs. C'est en repliant un tube capillaire sur lui-même en forme de serpentín que l'on obtient un cylindre de lumière pouvant être renfermé dans un tube plus résistant et capable de donner une certaine illumination quand ce serpentín transmet les décharges d'appareil d'induction. Afin d'éviter l'emploi de raréfiés, qui au bout d'un certain temps se composent, on fait simplement usage d'azote on construit le serpentín en verre d'urane, qui une lumière de teinte verdâtre due aux électrophosphorescence, et dont l'intensité ne change

Les appareils construits ainsi donnent une quantité de lumière, car leur pouvoir éclairant est un peu moindre que celui des lampes des mineurs; mais ils ont l'avantage d



Fig. 36.

senter aucun danger d'explosion, l'action calorifique qui se manifeste à l'extérieur du tube étant très-faible. On peut se servir également de ce mode d'éclairage dans d'autres circonstances, comme pour l'éclairage sous l'eau (1).

Au lieu d'employer des tubes à air raréfié, on peut introduire dans un œuf électrique ou sous une cloche placée sur une machine pneumatique, des corps comme les sulfures phosphorescents, le bisulfate de quinine et le verre d'urane; au moment où les décharges de l'appareil d'induction traversent l'air raréfié, ces corps émettent, par action propre, leur lumière phosphorique, et l'arc voltaïque conserve sa teinte violacée; c'est un effet lumineux très-curieux à observer.

On peut donner à l'expérience la forme indiquée ci-contre fig. 37 :

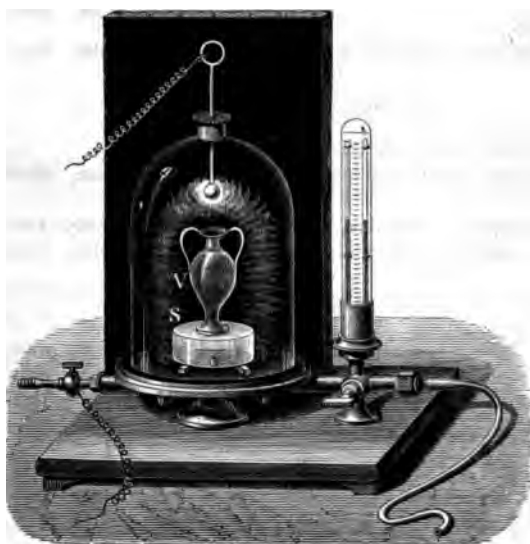


Fig. 37.

sur la platine de la machine pneumatique repose un soc en verre dont la surface est enduite de bisulfate de quinine; un vase en verre d'urane V repose sur le soc. Quand la décharge passe, et qu'elle produit comme une gerbe lumineuse ayant la teinte rouge violacée caractéristique de l'azote raréfié, le soc devient lumineux bleu et le vase lumineux vert.

(1) Voir la notice sur l'appareil d'induction, déjà citée, page 204, et *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, t. 11, p. 217, et 531, 1864.

On voit donc que ce mode d'expérimentation, joint à l'emploi des rayons violets obtenus avec les écrans, offre un des moyens les plus frappants que l'on puisse employer pour montrer les effets lumineux des corps qui ont la faculté de conserver pendant un temps plus ou moins long (et surtout dans ce dernier cas) l'action exercée par la lumière.

Je terminerai ce paragraphe en citant les noms des matières que l'on peut le plus généralement employer et dont les effets lumineux sont les plus tranchés pour les expériences qui viennent d'être indiquées :

Corps solides à courte persistance.

Verre d'urane,	lumière émise,	verte.
Azotate d'urane,	id.,	verte.
Platino-cyanure de potassium,	lumière émise,	bleue.
Papier, carton ou verre enduit de bi-sulfate de quinine.	} lumière émise,	bleue.
Certains cristaux de spath-fluor,		

Corps liquides à courte persistance.

Dissolution de sulfate de quinine dans l'eau acidulée par l'acide tartrique ou sulfurique,	} lumière émise,	bleue.
Dissolution aqueuse d'esculine,		
Dissolution alcoolique de chlorophylle,	lumière émise,	rouge.

Corps solides à longue persistance.

Sulfure de barium,	lumière émise,	orangée.
Sulfure de strontium,	id.,	verte.
Sulfure de calcium,	id.,	vert bleuâtre.

CHAPITRE IV.

Composition de la lumière émise par les corps phosphorescents.

§ 1. *Appareils employés.*

Pour étudier la composition de la lumière émise par les différents corps dont la phosphorescence a une durée plus ou moins longue, j'ai fait généralement usage du phosphoroscope décrit, chapitre II, page 249.

Cet appareil a été disposé de manière à pouvoir faire toutes les observations dont il va être question plus loin.

Il est nécessaire de le placer dans une chambre noire comme l'indique la figure 38 et d'ajuster la partie antérieure AB de la boîte qui

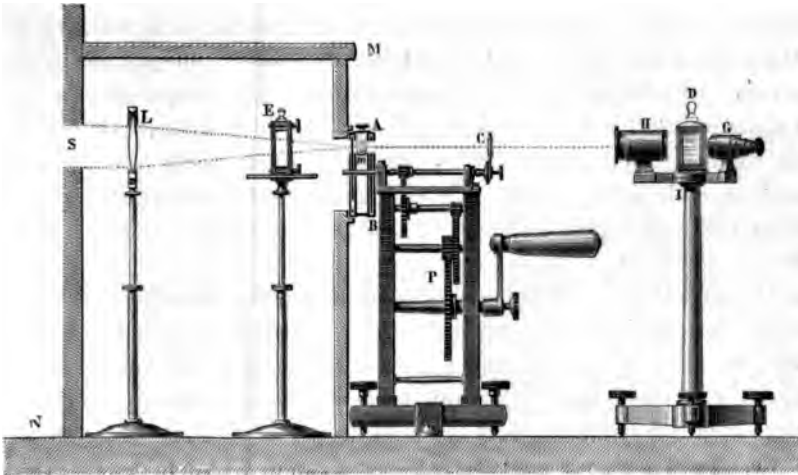


Fig. 38.

porte les disques mobiles dont les ouvertures ne se correspondent pas, sur le fond M d'une caisse en bois MN adaptée au volet, de façon qu'aucune trace de lumière diffuse ne puisse pénétrer jusqu'à l'observateur. D'un autre côté, le faisceau S de lumière solaire, après avoir été réfléchi sur le miroir d'un héliostat, est réfracté par une lentille à court foyer L qui concentre ainsi une assez grande quantité de lumière sur le corps *m* placé dans l'intérieur du phosphroscope. La caisse MN est nécessaire pour éliminer toute trace de lumière diffuse qui nuirait aux observations. Telle est la disposition à prendre quand on agit avec la lumière blanche.

Lorsqu'on veut opérer avec des rayons d'une réfrangibilité déterminée, le moyen le plus précis consiste à réfracter un faisceau lumineux à l'aide d'un prisme et à éclairer le phosphroscope à l'aide des rayons transmis. On peut encore placer sur la route des rayons, avant d'éclairer les corps, des écrans tels que E, formés par des cuves en glace remplies de liquides colorés, lesquels permettent d'agir seulement avec une portion déterminée du rayonnement solaire. Ainsi, un écran

obtenu au moyen d'une dissolution de sulfate de cuivre ammoniacal ne laisse passer que la partie la plus réfrangible de la lumière et comprise depuis la raie b du vert, un peu avant F du spectre solaire, jusqu'aux rayons extrêmes violets. Un écran fait avec une dissolution de bichromate de potasse ne laisse passer que le rouge, l'orangé et le commencement du vert, c'est-à-dire depuis A jusqu'à moitié de la distance de D à b . Si on fait usage de chromate jaune de potasse, une grande partie du vert est transmise, et la portion du spectre solaire qui passe a une étendue comprise depuis A jusqu'à $\frac{1}{3}$ environ de la distance de b à F; un écran de bichlorure de cuivre ne donne que la partie moyenne du spectre, ou le jaune, le vert et le commencement du bleu, c'est-à-dire depuis la moitié de la distance de C à D jusqu'au delà de F à $\frac{1}{4}$ de la distance de F à G.

L'appareil dont j'ai fait usage ne peut donner les effets de persistance d'impression lumineuse au delà de $\frac{1}{5000}$ de seconde. Dans la plupart des cas, cette limite est suffisante; cependant, je dois dire qu'il y a des corps, tels que diverses dissolutions de substances organiques et plusieurs platino-cyanures, dont la durée de persistance est moindre.

Ce phosphoroscope peut servir non-seulement à l'étude des matières transparentes ou translucides d'une certaine dimension, mais encore à celle des substances opaques; pour opérer avec ces dernières, il faut les réduire en poudre, en faire adhérer avec un peu d'eau une très-légère couche sur une lame de mica ou de quartz, et fixer cette lame au milieu de l'appareil. Le mica, comme le quartz très-limpide, n'ayant pas d'action appréciable, l'effet observé se rapporte à la matière déposée. On peut également placer les matières pulvérulentes entre deux petites lames de mica distantes de $\frac{1}{2}$ de millimètre environ, et formant une très-petite cuve ouverte à la partie supérieure.

Lorsque les substances sont lumineuses dans le phosphoroscope, on analyse la lumière émise avec un spectroscope disposé comme il suit: on place à quelque distance un prisme creux rempli de sulfure de carbone D, fixé sur un pied I et de façon que son arête soit verticale; une lunette G, qui se meut circulairement autour du prisme, permet d'étudier les différents éléments de la lumière transmise lorsque le prisme est dans la position du minimum de déviation. Un micromètre situé au foyer de l'oculaire de la lunette G sert à mesurer les intervalles des différentes parties lumineuses des spectres observés. Pour avoir une image prismatique bien nette et dont les éléments soient



N° 1

CORPS LUMINEUX

N° 2 Alumine

N° 12
Carbonate de Strontiane

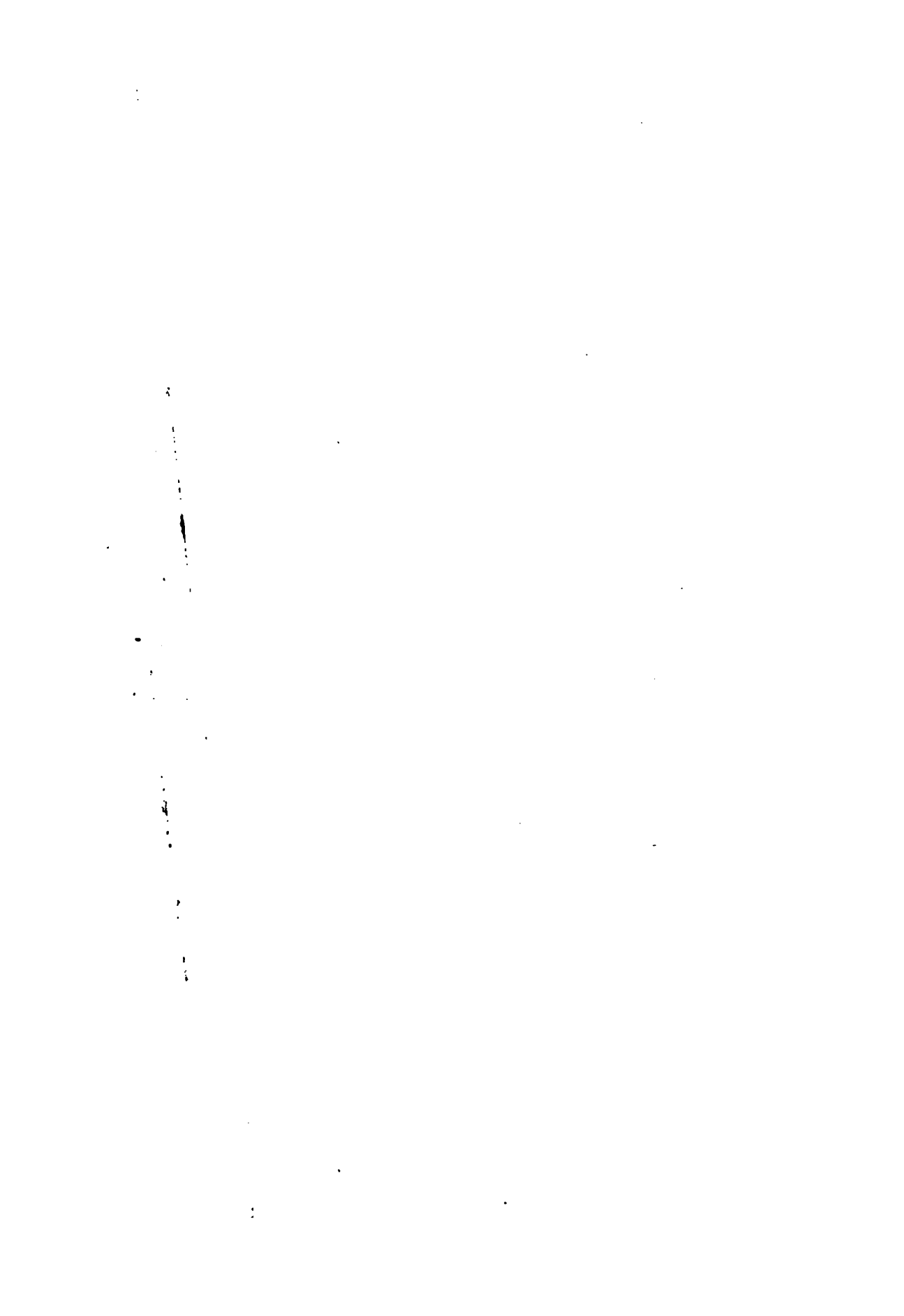
N° 13
Carbure d'hydrogene
(Coloré Comme les sels d'urane)

N° 14 Azotate d'urane

N° 15
Percblorure d'uranium
et uranite

Imp. Sarasin

Dider. 30



suffisamment écartés, il faut que le corps lumineux *m* soit taillé sous la forme d'un prisme vertical long et étroit ; sans cela, s'il n'a pas une forme régulière, on fixe en C une lentille cylindrique dont l'axe est vertical, et la réfraction en D s'opère comme si les rayons provenaient d'un faisceau lumineux mince et étroit.

Pour comparer les effets lumineux à ceux qui sont produits quand les rayons ultra-violetts frappent certains corps, comme le bisulfate de quinine, on place en H une seconde lunette faisant collimateur et en avant de laquelle se trouve un écran muni d'une fente étroite ; on enlève alors le phosphoroscope, on fixe la matière sur l'écran H, et on l'éclaire vivement, soit à l'aide des rayons solaires qui ont traversé une couche d'une dissolution de sulfate de cuivre ammoniacal, soit avec les rayons ultra-violetts du spectre solaire. En examinant au moyen de la lunette G, au travers du prisme D, les éléments lumineux transmis, on peut comparer les effets à ceux obtenus dans le phosphoroscope avec les autres corps : on verra plus loin, ainsi qu'on l'a énoncé dans le chapitre III, page 320, que lorsque les corps peuvent être rendus lumineux dans le phosphoroscope, et par l'action des rayons violets, la composition de la lumière émise est la même dans les deux circonstances.

La planche figure 39, qui renferme les images prismatiques obtenues en réfractant les rayons provenant de quelques substances, représente seulement l'effet produit quand ces substances sont excitées à l'aide de la lumière blanche ; ce n'est que dans le cours de ce chapitre que l'on indiquera les effets qui résultent de l'influence des rayons simples.

§ 2. Alumine et ses combinaisons.

L'alumine est une des matières les plus curieuses à examiner dans le phosphoroscope, en raison de la netteté et en même temps de la vivacité des effets qu'elle manifeste, et en outre de leur simplicité, car son action est la même, que la matière soit amorphe, fondue ou cristallisée, et ne présente pas plusieurs effets, comme les substances dont on parlera plus loin. D'un autre côté, cette matière entrant dans la composition d'un grand nombre de produits naturels et artificiels dans lesquels elle peut jouer le rôle d'acide ou de base, on peut suivre les modifications apportées dans son action propre.

Si l'alumine est précipitée d'une dissolution d'un sel d'aluminium, puis desséchée dans le vide pneumatique et par conséquent hydratée,

elle émet alors dans le phosphoroscope une lumière verdâtre, quelque fois assez faible, dont l'intensité dépend de son mode de préparation. Si la précipitation a été obtenue avec le chlorure d'aluminium dissous et l'ammoniaque, l'effet est plus marqué qu'en opérant avec les aluns ou le sulfate d'alumine.

Si l'alumine hydratée est calcinée pendant longtemps à une température élevée, elle devient anhydre et donne dans le phosphoroscope une action toute différente; elle est rouge foncé avec une nuance très-belle et très-pure, la plus rouge que l'on puisse obtenir avec les matières essayées jusqu'ici. On observe l'effet qu'elle produit en la fixant sur une lame mince de mica, et même en mettant une épaisseur de 4 millimètre d'alumine en poudre entre deux petites lames de cette substance; la translucidité de la matière est suffisante pour que celle-ci paraisse d'un beau rouge pendant l'action des rayons solaires.

Quoique l'alumine hydratée et calcinée à une température suffisamment élevée ait donné les mêmes effets, quelle que fût sa préparation, je dois dire que l'alumine qui provient de la calcination directe de l'acétate d'alumine a paru posséder un pouvoir plus énergique que celle provenant des aluns ou du chlorure; il est nécessaire néanmoins que la durée de l'action calorifique soit suffisante, car sans cela la teinte émise serait plus ou moins verte.

Après ce mode de préparation, qui donne des effets très-énergiques, je signalerai celui qui consiste à calciner l'alun ammoniacal, à laver le résidu et à calciner vivement une seconde fois la matière; du reste, dans ces diverses circonstances, quand l'alumine est pure, elle offre une émission de lumière dont la composition est toujours la même.

Si l'alumine est fondue ou qu'elle soit cristallisée, les effets ne changent pas, mais sont plus faciles à observer, les matières étant transparentes; ces substances prennent encore dans le phosphoroscope une belle nuance rouge. Dans cet état, les substances mélangées à l'alumine peuvent influencer sur l'intensité lumineuse, mais non sur la nature de la lumière émise. Si l'alumine a été fondue avec l'oxyde de chrome et que la masse soit très-légèrement violacée, la lumière émise est beaucoup plus vive. Suivant la température à laquelle le corps a été soumis et peut-être la quantité d'oxyde de chrome contenu, on sait que l'on a des masses d'une nuance rose-violacée (rubis), bleue (saphir) et rouge-jaunâtre; ces différentes matières sont toutes lumineuses rouge dans

Le phosphoroscope avec la même composition lumineuse que le coryndon artificiel parfaitement blanc.

J'ai essayé comparativement les pierres précieuses naturelles, telles que les coryndons blancs, les saphirs, les rubis, et j'ai observé des effets du même genre. Ces corps sont tous lumineux avec une belle nuance rouge, mais dont l'intensité est différente dans chaque cas, sans que l'on puisse dire d'où provient cette inégalité. En général les rubis ont une action plus vive que les autres coryndons; cependant il y a des rubis qui ont une action plus faible que d'autres : ceux qui ont une teinte rose-lilas sont presque toujours très-lumineux. Les coryndons blancs, les saphirs bleus, conduisent à la même conclusion. Ordinairement les rubis sont assez lumineux pour qu'ils présentent immédiatement cette couleur rouge dans les rayons ultra-violet, et sans qu'il soit nécessaire pour observer cet effet d'avoir recours au phosphoroscope.

La durée de la persistance de l'impression lumineuse avec l'alumine (coryndons, saphirs) est assez étendue lorsque l'intensité de la lumière incidente est grande. En tournant très-lentement la roue du phosphoroscope on voit aussitôt l'effet se produire; quand la roue du phosphoroscope fait un tour en dix secondes, on observe l'émission de lumière avec la plupart des échantillons, c'est-à-dire qu'il y a une persistance plus grande que $\frac{1}{100}$ de seconde. Lorsque le corps est vu après trois ou quatre millièmes de seconde, on arrive au maximum d'intensité, et la lumière n'augmente plus avec une vitesse plus grande de l'appareil. On a déjà parlé de ces effets page 260 et suivantes.

Si l'on transporte successivement le phosphoroscope dans les différentes parties d'un spectre solaire très-intense, on voit le coryndon devenir lumineux depuis l'extrême rouge jusque bien au delà du violet; le maximum d'action a lieu dans le commencement du vert, c'est-à-dire là où se trouve le maximum de lumière du spectre; très-près de ce maximum il y a un décroissement brusque d'intensité, et ensuite dans les rayons bleus, violets et au delà, l'action est moins intense. On voit que l'alumine conduit à ce résultat curieux qu'elle est impressionnée par toute la partie visible du spectre, en donnant lieu à des rayons qui sont toujours sensiblement de la même nuance.

En disposant sur la route des rayons de lumière blanche des écrans différemment colorés, on arrive à la même conclusion; les verres rouges, les écrans jaunes, bleus, laissent également impressionner l'a-

lumine, et la différence des effets ne paraît provenir, en grande partie, que de la différence dans l'intensité des rayons qui traversent ces écrans, abstraction faite de leur couleur.

Si l'on place l'un devant l'autre deux écrans, l'un en verre rouge, l'autre en verre bleu coloré par le cobalt, on sait que cette réunion ne laisse traverser que les rayons rouges extrêmes, c'est-à-dire la portion du spectre comprise entre les raies du spectre solaire lumineux A et B. Les rubis sont encore actifs à l'aide de cette lumière ainsi tamisée, mais ils le sont très-faiblement; ils émettent des rayons rouges qui traversent également un écran rouge du même genre. On voit donc, dans ce cas, que les rayons émis ont la même réfrangibilité que les rayons actifs et que la matière vibre pour ainsi dire à l'unisson des rayons qui l'impressionnent.

La coloration du rubis jointe à l'effet qui a lieu dans les rayons ultraviolets, fait peut-être supposer que la teinte de ce corps à la lumière du jour pourrait résulter en partie des rayons émis en vertu d'une action propre; je n'avance toutefois cette idée qu'avec une certaine réserve.

La composition de la lumière émise par l'alumine peut être reconnue au moyen de la disposition représentée plus haut fig. 38 en examinant à l'aide de la lunette G l'image du corps *m*, réfractée à l'aide du prisme D en sulfure de carbone. L'étude des images prismatiques a montré que l'alumine, les rubis, les coryndons, les saphirs, donnent la même composition lumineuse. L'effet produit est représenté planche fig. 39; le n° 1 indique la position des raies du spectre solaire lumineux qui servent de limites pour comparer les réfrangibilités des lumières émises.

On voit que le spectre de la lumière donnée par l'alumine présente quatre parties lumineuses, α , ϵ , γ , δ , dont trois sont très-nettes et caractéristiques ϵ , γ , et δ . La première, α , est très-faible et difficile à distinguer. La partie ϵ rouge est très-brillante, et se trouve tangente à la ligne B du rouge prismatique; elle est moins réfrangible qu'elle, et se trouve séparée de α par une petite bande obscure. ϵ est séparé de γ par un certain espace peu lumineux, mais dans lequel se trouvent des raies noires. γ est divisé nettement en deux parties, et enfin entre γ et δ on observe un minimum de lumière.

D'un autre côté, si l'on impressionne l'alumine par les différents rayons du spectre, et qu'on analyse la lumière émise, on trouve toujours la même composition à cette dernière, pourvu que la partie active

reste comprise entre l'extrémité violette du spectre et l'orangé; dans le rouge du spectre actif, les parties γ et δ disparaissent, et dans l'extrême rouge il n'y a plus que α et ϵ de visibles.

Il y a un autre moyen d'étudier la composition de la lumière émise; il consiste à prendre un rubis bien lumineux, et à le placer devant la fente verticale de la lunette H que l'on adapte à l'appareil I, fig. 38, page 335; on enlève le phosphoroscope P, et l'on projette simplement sur le corps la lumière solaire tamisée par un écran de sulfate de cuivre ammoniacal; aussitôt le rubis s'éclaire en rouge, et à l'aide du prisme et de la lunette on étudie la composition de la lumière : cette composition est semblable à celle que nous venons d'indiquer, si ce n'est que la partie δ est moins lumineuse qu'en employant le phosphoroscope. Il est facile de déterminer la position des raies du spectre solaire à l'aide du micromètre de la lunette avant l'interposition de l'écran bleu foncé; on peut alors, quand on fait usage de l'écran, connaître la position des bandes lumineuses α , ϵ , γ , δ par rapport aux raies du spectre. Je dois dire qu'en éclairant le rubis à l'aide de la partie ultra-violette du spectre on obtient les mêmes effets. L'analyse optique faite de cette manière indique au milieu de la partie α une ligne noire; entre ϵ et γ il y a quatre petites lignes noires bien nettes. La bande obscure qui sépare γ en deux parties est la réunion de plusieurs lignes noires que l'on n'a pas indiquées sur la figure, et enfin il y a apparence au moins de deux lignes dans la région δ . Du reste, sur la planche fig. 39 on n'a représenté que les bandes lumineuses et les lignes noires les plus caractéristiques.

L'identité de composition lumineuse en opérant avec le phosphoroscope ou avec la lumière ultra-violette est très-remarquable; elle vient confirmer cette proposition, déjà établie antérieurement, que les effets lumineux donnés par le sulfate de quinine, la chlorophylle et étudiés chap. III, page 316, ne sont autres que des effets de phosphorescence de courte durée. On retrouvera plus loin cette identité d'effets avec les sels d'urane et d'autres matières.

On peut employer une autre disposition pour établir la position des parties brillantes et celle des raies noires du spectre de la lumière émise, par rapport aux raies du spectre solaire : on fixe dans le phosphoroscope sur le corps *m*, fig. 38, un petit fragment de nitrate d'urane; on voit alors dans la lunette G deux spectres superposés; l'un, à la partie inférieure, est celui donné par le corps *m*; l'autre, au-dessus, est le spectre

du nitrate d'urane représenté n° 14 et formé par des bandes lumineuses bien définies de position. Le micromètre de la lunette indique les rapports des distances entre ces bandes lumineuses et celles des corps, et l'on peut fixer leur position comme on l'a fait sur la pl. fig. 39.

En somme, comme on le voit, ces différents effets lumineux tiennent donc bien à la nature des molécules d'alumine, et non pas à des substances étrangères mélangées, puisque les coryndons plus ou moins mélangés d'éléments étrangers offrent les mêmes effets que l'alumine pure (1).

Il était important d'étudier les diverses combinaisons de l'alumine, pour observer comment, dans le groupement moléculaire, le caractère particulier de chaque corps se trouve conservé. On a indiqué dans le tableau suivant la teinte des corps vus par diffusion avant d'analyser les effets dans le phosphoroscope, ainsi que la couleur de ces corps vus directement dans l'appareil.

(1) Parmi le très-grand nombre de coryndons et de saphirs que l'on m'a prêtés et que j'ai essayés, il s'est trouvé quelques pierres bleues qui n'ont pas offert de lumière rouge dans le phosphoroscope, mais seulement quelques traces de lumière verdâtre. L'examen approximatif que j'en ai fait m'a porté à croire que ces minéraux ne sont pas des saphirs ; mais, n'ayant pu les analyser, je ne puis pas présenter une conclusion affirmative dans ce sens, et décider si dans quelques cas des substances étrangères mélangées à l'alumine ne pourraient pas changer la nature de la lumière émise, comme on l'observe lors de l'hydratation de cette matière.

COMPOSÉS ALUMINEUX.		ÉTAT DU CORPS.	TEINTE DE LA LUMIÈRE ÉMISE dans le phosphroscope.
Alumine ...	Coryndon, rubis, saphir.	Transparent incolore ou coloré en rouge, violet ou bleu.	Rouge très-pur et vif.
	De magnésie (spinelle).	Transparent rouge ou violet.	Rouge très pur et vif.
	De glucine (cymophane).	Transparent verdâtre.	Jaune orangé avec la cymophane artificielle; lumière très-faible avec la cymophane naturelle.
Aluminates.	De zinc (gahnite).	Opaque.	Aucun effet appréciable.
	De potasse et de soude (verre aluminé).	Transparent.	Jaune verdâtre.
	Disthène.	Translucide.	Rouge très-pur et vif.
	Andalousite.	Légerement translucide ou opaque.	Rouge très-pur et vif.
Silicates d'alumine.	Sillimanite.	Translucide.	Rouge (teinte très-faible).
	Halloysites, argiles, etc.	Opaque.	Inappréciable ou verdâtre très-faible.
	Topaze.	Transparent jaune ou rose.	Rouge très-pur.
Silico-fluate d'alumine.....	Feldspath adulaire.	Transparent.	Quelques échantillons sont rouge très-faible, d'autres à peine visibles.
	Ortose albite etc.	Opaque.	Aucun effet appréciable.
	Amphigène etc.	Transparent.	Verdâtre très-faible.
	Mésotype, apophyllite, etc.	Translucide.	Quelquefois verdâtre faible, la plupart du temps aucun effet appréciable.
	Grenat, euclase, cordiérite.	id.	Aucun effet appréciable.
	Emeraude.	id.	Quelquefois action très-faible.
	Anortite.	id.	Rouge orangé faible.
	Harmotome.	id.	Jaune verdâtre.
	Pheinite.	id.	Jaunâtre.
Hydrate.....	Chlorure d'aluminium.	id.	Verdâtre très-faible.
Fluorure double d'aluminium et de sodium; Cryolite.		id.	Aucune action appréciable.
Seis à base d'alumine.	Sulfate d'alumine.	id.	Verdâtre très-faible.
	Alums de potasse et d'ammoniaque.	Transparent.	Verdâtre très-faible.

On reconnaît d'après l'ensemble de ces effets que dans les composés où l'alumine joue le rôle de base, tels que les sulfate, chlorure, fluorure et même avec l'hydrate d'alumine, on n'observe qu'une émission de lumière verdâtre et nullement la couleur rouge caractéristique indiquée précédemment. La combinaison de l'alumine avec la silice se présente sous d'autres conditions, car avec le disthène comme avec l'andalousite, qui sont des silicates d'alumine anhydre, la lumière émise est d'un rouge très-pur; la sillimanite ne donne qu'un effet beaucoup plus faible; quand le silicate d'alumine est hydraté, cet effet disparaît. La silice semble donc se comporter ici comme un acide né neutralisant pas tout à fait l'action lumineuse de l'alumine, à moins que ce résultat ne soit dû à ce que la silice ne présente aucun effet lumineux appréciable à nos moyens d'expérimentation.

Avec les aluminates on observe une action du même genre, si ce n'est que la base modifie profondément l'action de l'alumine. Ceux à base de potasse, de soude, sont verdâtres, comme la soude et la potasse; au contraire, celui de magnésie (spinelle) est aussi lumineux rouge que le rubis. Il faut remarquer que dans ce dernier cas l'alumine est combinée avec une base (la magnésie) dont l'affinité pour elle est assez faible, et d'un autre côté que la magnésie elle-même donne une émission de rayons rouges quand elle est placée dans le phosphoroscope. L'aluminate de glucyne naturelle (cymophane) est à peine lumineuse; la cymophane artificielle donne au contraire une faible lueur jaune-orangée.

La plupart des silicates alumineux et alcalins, tels que les feldspaths, ne donnent plus de lumière rouge; le silicate d'alumine anhydre ayant une action très-nette et facile à reconnaître, du moment que les lueurs émises n'offrent plus la teinte rouge, on doit en conclure que dans les combinaisons telles que les feldspaths, l'alumine est probablement combinée avec la soude ou la potasse sous forme d'aluminate, et que la silice se trouve mélangée à ce dernier corps ou combinée avec lui. Du reste, en faisant fondre de l'alumine avec du verre, si la proportion de verre dépasse 8 à 9 dixièmes, on obtient des masses fondues et translucides dans lesquelles on a beaucoup de peine à retrouver l'action caractéristique de l'alumine; cette dernière forme avec l'alcali que contient le verre de l'aluminate de potasse ou de soude dont la lumière émise est verdâtre, et le mélange de ce corps avec le verre fondu donne lieu à une masse phosphorescente présentant une

nuance jaune-verdâtre bien différenté de la nuance rouge du silicate d'alumine. Cependant le spectre obtenu avec la lumière émise par un verre contenant 8 parties de verre pour 2 d'alumine est presque aussi long que le spectre solaire lumineux, si ce n'est que la partie jaune et verte est moins brillante; à l'extrémité rouge on retrouve deux parties lumineuses qui correspondent aux espaces ϵ et γ du n° 2 de la fig. 39 relatifs à l'alumine.

Dans les silicates d'alumine où il entre de la chaux et de la baryte, le caractère propre de ces dernières bases se retrouve (couleur jaune ou jaune orangé), et l'effet caractéristique de l'alumine est pour ainsi dire détruit comme dans les feldspaths.

En somme, quatre substances donnent une émission de lumière rouge que l'on pourrait confondre de prime abord : ce sont : 1° l'alumine (coryndon); 2° l'aluminate de magnésie (spinelle); 3° le silicate de magnésie anhydre (dithène, andalousite et sillimanite); 4° la toxe. Mais si dans le phosphoroscope l'action paraît la même, l'analyse de la lumière par réfraction suffit, comme on va le voir, pour montrer les différences qui existent entre elles.

Spinelles. — Les spinelles ont en général la même couleur que les rubis, et dans le phosphoroscope l'effet lumineux a la même nuance et la même durée de persistance appréciable; mais la composition de la lumière émise est différente. Tandis que le spectre de l'alumine n° 2 est caractérisé par les trois espaces brillants ϵ , γ et δ très-nets et bien espacés, celui du spinelle paraît former une seule image α , β , γ , δ , n° 3, traversée par deux bandes noires fortes et nettement arrêtées, et composées elles-mêmes d'une réunion de raies noires placées très-près l'une de l'autre. La partie brillante ϵ , qui sépare ces deux bandes, est un peu moins large et un peu moins réfrangible que la bande brillante ϵ du spectre de l'alumine : elle est partagée exactement en deux par une raie noire, et cette réunion des deux raies brillantes rouges très-voisines rappelle la réunion des deux raies jaunes qui constituent la raie D de la flamme du sodium. Dans l'image spectrale de l'alumine, la partie ϵ est moins réfrangible que la raie B du spectre lumineux, tandis qu'avec le spinelle elle l'est davantage. Si l'on superpose dans le phosphoroscope un coryndon et un spinelle, on voit simultanément les deux spectres représentés n° 2 et 3, et les deux parties brillantes sont très-près l'une de l'autre, mais ne se correspondent pas. Si la lumière émise est intense, on distingue d'autres raies noires : parmi

celles que l'on voit nettement il y en a deux très-fines dans la partie α , puis cinq dans la partie δ : ces dernières sont équidistantes, à l'exception de la deuxième et de la troisième. La traînée lumineuse se prolonge un peu vers D, et donne une trace de lumière jaune verdâtre.

Tel est l'effet obtenu avec les petits spinelles octaédres ou bien avec les fragments de spinelles cristallisés naturels. J'ai remarqué que des petits spinelles roulés ont donné un spectre moins net, sans indication bien définie des deux raies ζ , et quelquefois avec une bande de lumière verte et bleuâtre; je pense que ce dernier effet provient de ce que les corps peuvent renfermer soit de l'eau, soit un alcali. D'un autre côté, si l'aluminate de magnésie a un excès d'alumine, les effets des deux substances se superposent, et les raies peuvent disparaître.

Les spinelles violets, comme les rubis, sont lumineux rouge dans les rayons ultra-violet; aussi, peut-on placer, comme ces derniers, les cristaux de spinelle devant la fente disposée à l'extrémité de la lunette d'un spectroscopie, et en les éclairant avec la lumière bleue ou violette obtenir un spectre bien net : ce spectre offre les raies et bandes indiquées plus haut.

Si l'on prépare l'aluminate de magnésie par le mélange d'une dissolution d'alun ammoniacal et de sulfate de magnésie dans laquelle on précipite l'alumine et la magnésie par l'ammoniaque, et qu'on élève à la température rouge le précipité, on a une matière qui les a propriétés lumineuses du spinelle.

Disthène. — Le disthène cristallisé, taillé en lamelles, blanc ou bleu, produit le même effet et offre la même composition lumineuse dans les deux cas. La quantité de lumière émise étant moindre qu'avec les deux substances précédentes, il est plus difficile d'étudier sa composition; on reconnaît cependant, comme avec le spinelle, un espace lumineux $\alpha \delta$, représenté n° 4 sur la fig. 39, séparé par deux bandes obscures ζ , lesquelles partagent le spectre en trois, α , ζ , δ ; mais la partie lumineuse ζ est plus large avec le disthène qu'avec le spinelle et n'est pas située à la même place; elle correspond exactement à la partie lumineuse ζ du coryndon. En outre, les deux espaces noirs apparaissent moins nettement découpés. L'andalousite donne des effets analogues à ceux que produit le disthène, mais avec moins d'intensité; la sillimanite est encore moins lumineuse, quoiqu'avec la même nuance. Quant à la staurotide, qui est toujours très-colorée et qui contient une grande quantité de fer, elle n'a donné aucune action appréciable.

Topaze. — Les cristaux de topazes jaunes, roses, blanches du Brésil et de Sibérie, donnent, comme les substances précédentes, une belle couleur rouge dans le phosphroscope; la nuance est beaucoup moins vive qu'avec le rubis et le spinelle et est peut-être un peu moins intense que celle donnée par le disthène. Mais, tandis qu'avec les trois substances précédentes la durée de la persistance de l'impression lumineuse est plus grande que $\frac{1}{100}$ de seconde, avec la topaze la lumière commence à être visible qu'en tournant assez rapidement le phosphroscope, ce qui donne 2 à 3 millièmes de seconde pour limite de durée au delà de laquelle on n'a plus d'émission lumineuse; le maximum d'effet est obtenu avec une vitesse qui conduit à observer le maximum $\frac{1}{1000}$ de seconde après l'action de la lumière. Ainsi, avec ce corps, la durée de la persistance est moindre qu'avec les trois composés précédents. Quant à la composition de la lumière émise, elle se rapproche beaucoup de celle du disthène, et l'image vue avec un prisme n'a qu'une partie visible comprise entre les mêmes limites, mais sans apparence de bandes et de raies, peut-être en raison de la faible intensité lumineuse.

Toutes les topazes qui ont été étudiées n'ont pas présenté l'effet de lumière dont il est question; les topazes cristallisées rouge, rose, même plus ou moins pâle, ont donné une émission de lumière rouge, mais les topazes blanches roulées du Brésil n'ont offert aucune action appréciable: ce résultat tient à ce que l'effet est beaucoup trop faible pour être manifeste, ou bien à ce que l'on a désigné sous le nom de topaze roulée un autre minéral que la topaze prismatique proprement dite, ou une substance ayant une composition chimique différente.

L'analogie frappante des effets de la topaze cristallisée et du disthène, et l'observation faite avec le double fluorure d'aluminium et de calcium et avec les sels d'alumine, lesquels montrent que la teinte caractéristique rouge de l'alumine est détruite, conduisent à admettre que l'alumine dans la topaze est à l'état de silicate, et que le fluorure d'aluminium n'intervient pas dans la production des effets lumineux; il résulte de ces faits que le disthène et la topaze, sous le rapport de la lumière émise, paraissent être des minéraux très-voisins l'un de l'autre.

Ces quatre substances dont on vient de parler, l'alumine, le silicate d'alumine, l'aluminate de magnésium et la topaze, sont impressionnables dans les mêmes limites de réfrangibilité du spectre, c'est-à-dire depuis l'extrême rouge jusqu'au delà du violet et conduisent aux mêmes

observations que celles faites avec le coryndon; seulement, avec le spinelle il y a au commencement du bleu du spectre un espace où il semble que la matière soit moins impressionnée qu'en deça et qu'au delà; il y aurait donc en cet endroit un minimum d'intensité du spectre actif sur le spinelle.

On a vu plus haut que les sels à base d'alumine n'avaient qu'une action assez faible dans le phosphroscope, et que les aluminates alcalins étaient dans le même cas; on pourrait alors attribuer le peu d'action des silicates alumineux et alcalins à ce que l'alumine, dans ces derniers corps, est à l'état d'aluminate.

Les argiles n'offrent aucune action appréciable; mais quand elles sont fortement calcinées, elles donnent une lumière jaunâtre, peut-être par la présence du verre résultant de la fusion de la silice au moyen de la potasse qui se trouve ordinairement dans les argiles. Tel est l'effet produit en particulier avec la porcelaine qui donne une teinte jaune dans le phosphroscope.

Il y a encore deux minéraux alumineux que l'on doit citer, et qui ne donnent aucun effet : ce sont la tourmaline et l'axinite (silico-borates d'alumine), dont la composition est, comme on le sait, fort compliquée; le dernier corps surtout est à signaler, car il renferme une assez forte proportion d'alumine et de chaux.

§ 3. *Diamant.*

Le carbone à l'état de diamant est doué d'une action remarquable; cet effet tient évidemment à la constitution moléculaire de ce corps, puisque le charbon ordinaire ne jouit pas des mêmes propriétés.

Si l'on expose à l'action des rayons solaires des diamants naturels ou des diamants taillés, et qu'on vienne à les présenter à l'observateur dans une chambre noire, un très-grand nombre de ces diamants (en général moitié) paraissent phosphorescents, et tous ceux que j'ai examinés offrent une émission de lumière jaune plus ou moins vive, quoiqu'en général très-faible, mais assez persistante, puisqu'elle peut durer plus d'une heure. Cependant, les diamants qui ne présentent pas d'effets par ce mode d'action peuvent devenir actifs quand on fait usage de la lumière des décharges électriques excitées très-près de ces corps, comme on l'a dit plus haut, page 326. Après la cessation des décharges, ils offrent une faible lumière jaunâtre qui n'est pas sensible

s l'influence solaire, en raison de l'intensité moindre de la lumière ve; en opérant ainsi je n'ai pas trouvé de diamants taillés ou non n'aient présenté des effets lumineux, les uns étant plus actifs que autres, sans reconnaître les motifs de cette différence.

orsqu'on place les diamants dans la partie ultra-violette du spectre aire, ou bien lorsqu'on les examine à l'aide des décharges élec-ques excitées dans l'air raréfié, un certain nombre d'entre eux s'illu-ent avec une teinte bleue analogue à celle que produit le sulfate de nine, d'autres ne semblent pas donner d'action appréciable. Les mants qui offrent cet effet particulier sont en général ceux qui sont plus lumineux jaune après l'action du rayonnement et comme on nt de le voir plus haut. L'arrangement moléculaire qui dome lieu à mission de la lumière bleue dans un certain nombre de diamants telle, que ceux-ci vus à la lumière diffuse ont une légère teinte uâtre, et dans un diamant que j'ai eu entre les mains l'effet était si ergique, que la teinte générale du corps à la lumière du jour était ue clair.

Si l'on place ces diamants dans le phosphoroscope, et qu'on les éclaire ement au moyen des rayons solaires, on observe les effets suivants : général, par un mouvement lent des disques de l'appareil, ils iennent lumineux avec une teinte jaune légèrement orangée; tous x qui sont moyennement phosphorescents conservent cette teinte ne, quelle que soit la vitesse du phosphoroscope, et même quand disques font 400 révolutions par seconde, c'est-à-dire lorsque le ps qui sépare le moment où l'on voit le corps de l'instant où il frappé par la lumière blanche est environ $\frac{1}{2}$ millième de seconde. es diamants bien lumineux ne sont jaunes-orangés que par une le vitesse des disques du phosphoroscope, et la lumière change c la vitesse de rotation de façon à passer à une teinte bleu clair présentant des nuances violacées intermédiaires. Parmi ceux-ci, quelques-uns n'offrent jamais qu'une lumière violacée, quelle que soit itesse des disques jusqu'à la limite que l'on a pu atteindre, peut-être ce que les rayons jaunes et bleus, émis en même temps, ont peu près la même intensité et que l'on observe la teinte composée ultant de leur réunion; d'autres diamants sont d'abord jaunes, mais viennent complètement bleu clair en imprimant une certaine visse à l'appareil, de sorte que l'intensité de la lumière bleue est bienérieure à celle de la lumière jaune. Parmi ces derniers, j'en ai vu

qui sont jaune orangé quand on tourne lentement le phosphoroscope puis qui deviennent bleuâtres quand la vitesse du disque est de $\frac{1}{200}$ tours par seconde, et dont la teinte est tout à fait bleue lorsque cette vitesse est double. Ainsi, dans ce cas la durée de la persistance de la lumière bleue parait inférieure à $\frac{1}{1000}$ de seconde, et elle n'est pas appréciable après $\frac{1}{200}$ ou $\frac{1}{300}$; la lumière jaune, au contraire, peut se prolonger pendant plusieurs minutes. Du reste, on ne peut préciser la durée exacte de la persistance lumineuse, car, d'après ce qui a été dit antérieurement, la limite jusqu'à laquelle s'étendent les effets perceptibles dépend de l'intensité des rayons actifs.

On ne peut prévoir *a priori* quels sont les diamants qui offrent ce curieux changement de teinte dans le phosphoroscope suivant la vitesse de l'appareil, car la durée de la persistance de la lumière bleue est très-variable. Je citerai entre autres les résultats suivants : Deux diamants taillés faisant partie d'une parure étaient à peu près aussi lumineux l'un que l'autre après les avoir exposés à la lumière solaire avant de les transporter dans la chambre noire; ils étaient également bleus dans la partie ultra-violette du spectre, et cependant placés dans le phosphoroscope l'un est resté jaune orangé, quelle que soit la vitesse de cet appareil, et l'autre est devenu bleu clair comme ceux dont j'ai parlé plus haut; la durée de la persistance de la lumière bleue est donc différente avec chacun d'eux. D'un autre côté, un diamant translucide appartenant au Muséum d'histoire naturelle et formé par une agglomération de petits cristaux disposés en tous sens, diamant qui est légèrement bleuâtre au jour et très-lumineux bleu dans les rayons ultra-violets, est devenu presque immédiatement bleu dans le phosphoroscope. Avec une vitesse supérieure à celle qui donne $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{3}$ de seconde à la persistance de l'impression lumineuse, on a distingué à peine une teinte verdâtre suffisante néanmoins pour montrer l'émission d'une faible quantité de lumière jaune; mais aussitôt que l'appareil a tourné un peu plus rapidement, et pour une durée de persistance inférieure à $\frac{1}{4}$ de seconde, le cristal est devenu bleu, et son maximum d'action a paru atteint vers $\frac{1}{1000}$ de seconde.

On voit, d'après cela, que le diamant présente deux effets lumineux bien tranchés : d'abord une lumière jaune-orangée plus ou moins vive que l'on observe avec tous les échantillons essayés, et qui semble tenir à la constitution moléculaire du corps; cette lumière a une intensité

et une persistance plus ou moins grandes, en vertu d'une cause qui n'est pas encore connue; en second lieu, une lumière bleue dont l'intensité peut être très-vive, dont la persistance est également variable, et qui est en général d'une durée ne dépassant pas $\frac{3}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ de seconde. Comme ce second effet lumineux ne se manifeste pas avec tous les diamants et peut même manquer complètement, ce qui n'a pas lieu pour la lumière jaune, on est porté à croire qu'il dépend d'un état physique particulier qui n'est pas essentiel à la constitution du corps.

Ces effets lumineux ne résultent pas d'une émission de rayons simples, et les teintes jaunes et bleues sont des teintes composées par la réunion de rayons différemment réfrangibles. L'analyse de la lumière par réfraction met ce fait en évidence : si un diamant est assez fortement lumineux jaune, et qu'on tourne lentement le phosphoroscope, on voit une image $\alpha\epsilon$ (n° 5 de la planche fig. 39), sans apparence de lignes noires, et qui correspond à la partie la moins réfrangible du spectre depuis le rouge orangé C jusqu'au milieu du vert. Quand on augmente la vitesse de rotation, cette partie du spectre ne change pas, mais une seconde trace lumineuse $\gamma\delta$ s'ajoute à la première; elle est verdâtre d'un côté, puis tourne au violet de l'autre. Le spectre total, qui est assez étendu, se compose alors de $\alpha\epsilon\gamma\delta$ avec un minimum d'intensité au milieu du vert près de F, à un tiers environ de la distance FD. Ces deux parties $\alpha\epsilon$, $\gamma\delta$ ont des intensités comparatives bien différentes suivant les échantillons essayés; si le diamant ne présente pas de teinte bleue pour une certaine vitesse du phosphoroscope, la seconde partie du spectre $\gamma\delta$ n'est pas appréciable.

On reconnaît encore au moyen de l'analyse de la lumière émise que lorsque la lumière bleue se produit, l'intensité lumineuse totale ne fait qu'augmenter et la lumière jaune primitive existe toujours. Ces résultats montrent donc que des vibrations de vitesse différente n'ayant pas la même persistance peuvent exister simultanément dans le même corps sans se nuire, et ne se manifestent pas successivement après l'action lumineuse incidente. Ce résultat pouvait être prévu : car si l'on réfléchit au jeu de l'appareil, on doit comprendre que les vibrations excitées dans le corps subsistent même sous l'action de la lumière incidente, et dès lors, du moment que l'on fait tourner l'appareil de plus en plus vite, ce sont les vibrations dont la persistance est la plus longue qui doivent se présenter d'abord; les autres n'apparaissent que successivement, mais doivent exister en même temps que les premières.

Les effets précédents ont été obtenus en éclairant les diamants avec la lumière blanche; il est important d'examiner comment ils se modifient en se servant de rayons d'une réfrangibilité parfaitement déterminée. Les résultats ont alors moins de netteté, car cette substance est loin d'être aussi lumineuse que les matières dont il sera question dans les paragraphes suivants; néanmoins, on a pu constater d'abord, en éclairant successivement les diamants placés au milieu du phosphoscope par les différents rayons d'un spectre solaire d'une petite étendue et très-intense, que les limites des rayons actifs étaient différentes pour chacun d'eux. Les diamants lumineux jaune et ceux jaune et bleu sont impressionnables depuis D ou E environ, c'est-à-dire depuis le jaune prismatique jusqu'au delà du violet; ceux qui sont faiblement jaunes et fortement bleus ont présenté une limite du côté des rayons les moins réfrangibles qui n'est pas aussi rapprochée du rouge; elle a paru être voisine de F. En faisant tourner lentement ou rapidement l'appareil, l'effet jaune-orangé a été sensible dans toute l'étendue de la partie active sur les diamants examinés, tandis que l'effet bleu n'a été manifeste que depuis la raie F du bleu, jusque dans les rayons ultra-violet.

Supposons donc qu'un diamant capable de présenter le changement de nuance de l'orangé au bleu soit fixé dans le phosphoscope et qu'on promène l'appareil dans le spectre solaire en pénétrant par le violet et en marchant du côté du rouge; on trouve alors qu'avec le maximum de vitesse de l'appareil le diamant est bleu dans le violet et le bleu, puis que sa nuance change et passe au jaune, et plus loin tourne à l'orangé à mesure que l'on s'approche de l'orangé du spectre solaire.

On peut manifester d'une autre manière l'action des rayons de diverse réfrangibilité: il suffit, comme on l'a dit à propos de l'alumine, de placer sur la route des rayons solaires qui éclairent le corps *m* (fig. 38, page 335), des écrans E formés avec les liquides cités page 336; l'écran contenant une dissolution de chromate jaune de potasse ne donne au diamant que la coloration orangée jaune; l'écran bleu, au contraire, lui donne les deux nuances à peu près comme la lumière blanche.

On voit d'après cela que non-seulement le diamant rendu actif émet des rayons différemment colorés dont la persistance est inégale, mais encore que ces rayons peuvent être excités par différentes parties du rayonnement lumineux: ces rayons peuvent être produits tous sous l'influence des rayons les plus réfrangibles, mais à mesure que la ré-

ngibilité des rayons actifs diminue, la quantité de rayons donnés r le corps diminue en même temps que sa couleur change, de sorte e la longueur d'onde de la lumière émise n'est pas plus petite, mais trouve au moins égale et en général plus grande que celle de la lumière incidente. Cela ne veut pas dire que la limite de l'action du être soit donnée par la couleur de la lumière la moins réfrangible i soit émise, c'est-à-dire qu'un corps donnant de la lumière où se uve de l'orangé doit être excité par l'orangé du spectre, car les onns verts, bleus, etc., peuvent exciter des rayons orangés dont la gueur d'onde est plus grande; mais on doit conclure de ce qui écède que si les rayons orangés sont actifs, ils ne pourront donner it au plus que de l'orangé et du rouge, et non pas du vert ou du u.

Ces conclusions résultent des études entreprises avec les différentes bstances examinées dans le phosphoscope, et sont plus faciles à dé- ire des résultats obtenus avec des corps tels que l'hydrate de po- ise et le fluorure de calcium, comme on le verra plus loin, que de ux présentés par le diamant.

On doit remarquer encore que les deux principales teintes de la lumière émise par le diamant sous l'influence de la lumière blanche pa- issent être complémentaires. Il est vrai que ces teintes résultent du blange de diverses lumières, et qu'il n'est pas certain, d'après ce i vient d'être dit, qu'il n'y ait que deux limites à la persistance s différents rayons; comme cette observation s'applique également des corps tels que le carbonate et le silicate de chaux, il est possible elle ne soit pas accidentelle et qu'elle tienne à la cause en vertu de laquelle ces phénomènes ont lieu, cause qui n'est pas encore bien connue.

§ 4. Composés à base de calcium.

Les composés de calcium sont intéressants à étudier en raison de l'in- nsité des effets qu'ils présentent et parce que la chaux semble donner a plupart d'entre eux la faculté d'émettre de préférence des rayons nes et orangés. La chaux est par elle-même assez fortement lumi- use; dans les conditions ordinaires elle ne donne pas d'effets bien nsibles, mais en la calcinant dans un fourneau à vent elle acquiert e certaine translucidité, et devient lumineuse jaune orangé dans le osphroscope. La lumière qu'elle émet, quoique peu vive, peut être

analysée avec un prisme; on reconnaît alors qu'elle a une réfrangibilité comprise entre les raies C et E du spectre solaire; elle contient donc en abondance les rayons orangés et jaunes et le commencement du vert, mais sans apparence de bandes noires séparant les espaces lumineux, comme avec l'alumine et quelques-unes des combinaisons de cette substance.

Si l'on examine les différents sels de chaux, on trouve que la plupart d'entre eux sont lumineux; tels sont le nitrate, l'oxalate, etc., qui donnent une lumière verdâtre de peu d'intensité; quant au sulfate, surtout le sulfate hydraté (gypse), il ne présente qu'un effet à peine appréciable. Certaines combinaisons de chaux, naturelles ou artificielles, sont douées d'une action énergique; tels sont le carbonate, le phosphate et le fluorure de calcium; nous allons passer successivement en revue ces différentes combinaisons, afin de montrer dans cette classe de corps combien peuvent varier les effets observés.

Carbonate de chaux. — On a vu que le spath d'Islande est orangé dans le phosphroscope, et cela avec une persistance qui ne se prolonge pas en général au delà de $\frac{1}{2}$ seconde; l'intensité de la lumière émise est très-variable, puisque certains échantillons ont une action assez forte, tandis que d'autres donnent un effet plus faible. Il est probable que ces différences tiennent à un état physique du corps, et non pas à la présence de matières étrangères; car en préparant artificiellement du carbonate de chaux on peut obtenir des effets analogues à ceux que donne le spath d'Islande.

Le carbonate de chaux peut donner lieu à une seconde action, c'est-à-dire présenter une émission de rayons bleus plus ou moins verdâtres, sans que l'on puisse prévoir les causes de ces divers effets. Il y a des cristaux de spath qui ne présentent que la teinte orangée, d'autres qui sont lumineux avec cette teinte, et qui deviennent ensuite bleuâtres quand l'appareil s'arrête; on peut alors voir le corps pendant quelque temps dans l'obscurité. La craie blanche offre un exemple d'un calcaire donnant les deux actions; l'arragonite, comme on le verra, ne donne qu'une émission de rayons bleus-verdâtres.

La lumière électrique provenant des décharges excitées entre les conducteurs d'un appareil d'induction peut servir à reconnaître l'émission des différents rayons orangés et bleus: il suffit de placer sur la petite tablette d'un excitateur, le fragment sur lequel on opère, et de faire éclater les décharges très-près de sa surface. En tenant les yeux

més pendant l'action des décharges, et en ne les ouvrant qu'à l'instant où cesse le passage de l'électricité, on peut observer les effets dus à la persistance des impressions reçues par le corps, et même l'émission des rayons orangés si l'on opère convenablement.

L'analyse de la lumière émise montre, au reste, que bien qu'un certain nombre de rayons lumineux soient émis par le carbonate de chaux, et que la teinte observée dans le phosphroscope résulte d'un mélange de rayons, cependant la teinte dominante doit peu varier; en effet, en examinant au travers d'un prisme en sulfure de carbone, cristal de spath d'Islande ou un fragment de carbonate de chaux émetteur lumineux orangé, on reconnaît que les limites de la lumière émise sont les mêmes qu'avec la chaux, et sont d'une part la raie C du spectre orangé (voir le n° 6 de la planche fig. 39), d'autre part une partie du spectre très-voisine de D dans le commencement du vert. La teinte de l'image $\alpha\delta$ est donc presque toute orangée, passant un peu au rouge α et au vert en δ ; quand on examine le spath sans employer de prisme, la nuance est sensiblement celle de la partie CD du spectre ordinaire.

Si le corps placé dans le phosphroscope est un cristal d'arragonite, on observe une longue trace lumineuse $\gamma\delta$ (n° 7 de la même planche), se terminant insensiblement en D et se prolongeant entre F et G, mais comprenant comme parties les plus vives le vert et le bleu; la nuance dominante de cette image, d'une intensité faible d'ailleurs, est donc le bleu-verdâtre. Si, au lieu de spath d'Islande ou d'arragonite, on place dans le phosphroscope un cristal de carbonate de chaux semblable à ceux dont il va être question plus loin et donnant les deux effets lumineux, on voit simultanément les deux images $\alpha\delta$, $\gamma\delta$, mais chacune avec des intensités variables, suivant les corps, l'un ou l'autre effet pouvant prévaloir.

Il était important de rechercher dans quelles circonstances ces deux effets peuvent se présenter simultanément ou séparément: j'ai observé que les cristaux rhomboédriques de spath d'Islande présentent en général la teinte orangée, mais que quelques-uns deviennent bleus et verdâtres; l'arragonite, comme on l'a vu, donne la même lumière bleue-verdâtre sans trace d'orangé. La forme cristalline des deux substances est différente, mais en élevant la température de l'arragonite, elle se divise, diminue de densité (au lieu 2,94, la densité devient 1), et bien qu'on admette qu'elle est transformée en petits cristaux

spathiques, la poussière conserve toujours la propriété de donner la teinte bleue caractéristique sans lumière orangée.

L'arragonite renferme souvent du carbonate de strontiane, et l'on aurait pu penser que ce dernier corps venant modifier l'effet du carbonate de chaux, l'état moléculaire différent ne serait pas la seule cause de ces deux actions lumineuses observées. Pour répondre à cette objection, j'ai d'abord examiné un très-grand nombre de cristaux naturels, soit rhomboédriques, soit des nombreuses variétés dérivant du rhomboèdre primitif, pensant que les causes qui ont donné lieu aux différences dans la cristallisation auraient pu modifier l'état moléculaire en vertu duquel l'émission de la lumière a lieu. Malgré la multiplicité des formes secondaires, on peut ramener celles-ci aux trois formes dominantes suivantes :

1° La forme rhomboédrique comprenant les rhomboèdres aplatis ou équiaxes, et les rhomboèdres inverses;

2° La forme prismatique;

3° La forme métastatique et ses modifications.

L'expérience a prouvé que, parmi les rhomboèdres, les équiaxes offrent les teintes orangées les plus vives, et que certains d'entre eux présentent ce phénomène lumineux d'une manière très-brillante. Les rhomboèdres ordinaires ont une action analogue, mais en général moins vive; on observe toujours la teinte orangée dans le phosphoroscope, et la persistance ne paraît pas supérieure à $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{2}$ de seconde; quelquefois, cependant, en exposant ces derniers corps à l'action de la lumière solaire et en les rentrant dans l'obscurité, on a une émission un peu prolongée des rayons bleus verdâtres, mais de faible intensité.

Avec les rhomboèdres inverses, au contraire, la teinte lumineuse orangée est faible et même peut manquer, tandis que la lumière bleue est plus intense et en général domine le premier effet. Ainsi, le carbonate de chaux en rhomboèdres inverses transparents provenant du Chili n'a donné qu'une émission de lumière bleue comme l'arragonite, et à peine s'il y avait trace d'orangé. Avec le calcaire quartzifère cristallisé qui se trouve empâté dans le sable de Fontainebleau, le même effet se produit; mais des cristaux rhomboédriques inverses trouvés dans une géode de la même formation géologique ont offert une émission de rayons des deux réfrangibilités orangées et bleues, et même en tournant la roue du phosphoroscope avec une certaine vitesse, chaque cristal parais-

sait de diverses nuances dans plusieurs directions et présentait des effets de dichroïsme.

Les cristaux prismatiques de carbonate de chaux ont offert principalement la couleur orangée, avec plus ou moins de vivacité, et les cristaux de forme métastatique ont donné simultanément les deux effets avec une intensité à peu près égale.

D'après ces résultats, l'action dans le phosphoroscope ne dépend pas uniquement de la nature chimique du corps, puisque la chaux carbonatée ne se comporte pas comme l'alumine et ne donne pas toujours le même effet; on voit que si un certain nombre de cristaux de carbonate de chaux présentent la nuance orangée, d'autres, comme les rhomboédres inverses, peuvent ne pas donner cette nuance. D'un autre côté, l'arragonite ne produit que de la lumière vert-bleuâtre, et doit être placée, au point de vue de la lumière émise dans le phosphoroscope, à côté de ces rhomboédres. Mais si l'arrangement moléculaire est cause de la différence des effets produits, il n'est pas probable que cette différence vienne uniquement à la forme cristalline; car il peut se faire que les modifications physiques qui ont existé au moment où les cristaux se sont formés et qui ont produit les formes différentes, aient été cause d'un arrangement moléculaire spécial d'où sont résultés les effets que l'on observe.

Je dois faire remarquer qu'en parlant des teintes orangées ou vertes bleuâtres, je n'ai entendu indiquer que les teintes observées directement dans le phosphoroscope, la lumière émise résultant d'un mélange de rayons de diverses couleurs dont les intensités sont variables; cependant, il faut observer que les teintes bleues obtenues avec les différents spaths indiqués plus haut sont moins vertes que celles données par l'arragonite et en particulier par l'arragonite de Vertaison. Il suffit, pour le vérifier, de placer dans le phosphoroscope en les superposant, un cristal inverse ne donnant que du bleu et un fragment d'arragonite; on voit alors ces deux corps s'éclairer simultanément, mais en présentant des teintes un peu différentes.

Il était important de reconnaître si avec le carbonate de chaux obtenu par double précipitation et ne contenant pas de matières étrangères, on rouvrirait les mêmes effets que ceux donnés par les cristaux naturels; ces résultats obtenus ont vérifié ces prévisions. Pour avoir du carbonate aussi pur que possible, on a pris des cristaux transparents de spath d'Islande ne donnant que de la lumière orangée dans le phosphoros-

cope, et après les avoir transformés en nitrate ou en chlorure, on a formé de nouveau du carbonate que l'on a précipité à l'aide du carbonate de soude ou du carbonate d'ammoniaque.

Si la préparation est faite en transformant le spath en nitrate ou en chlorure, l'effet ne paraît pas dépendre de la nature de l'acide, mais plutôt de celle du carbonate alcalin qui donne lieu au carbonate de chaux et de la température à laquelle la double décomposition se produit. Lorsque la précipitation est faite à 100 degrés, le carbonate de chaux obtenu ne donne que la teinte bleue persistante et n'offre à peine et même point de teinte orangée; mais cependant avec le carbonate d'ammoniaque cette teinte bleue est plus vive que lorsque l'on emploie le sous-carbonate de soude pour opérer la double décomposition. Si la température à laquelle la réaction qui donne le précipité est de plus en plus basse, on distingue les deux effets lumineux décrits plus haut, et lorsque cette température est de 15 degrés environ, une lame de mica recouverte d'un peu de poussière de ce carbonate de chaux paraît jaune-orangée ou bleuâtre dans le phosphoscope, suivant que l'on place sur la route des rayons lumineux actifs, comme on le verra plus loin, un écran jaune, ou bien un écran bleu-violet. J'ai dit plus haut que la nature de l'acide avait peu d'influence sur le pouvoir lumineux du carbonate précipité; cependant, en précipitant le carbonate au moyen d'une dissolution de chlorure de calcium, la lumière jaune-orangée est plus vive qu'en opérant avec le nitrate.

On voit donc qu'avec du carbonate de chaux pur précipité on peut observer l'un ou l'autre des deux effets lumineux; il est possible, toutefois, qu'à 100 degrés le précipité amorphe soit de l'arragonite; mais comme à 15 ou à 0 degrés il n'en est pas ainsi, puisque le spath primitif ne donne que la teinte orangée, et que le carbonate formé de nouveau donne les deux teintes, il faut donc que l'état moléculaire seul du carbonate lui donne le pouvoir de présenter tel ou tel effet.

On a fait usage également des sels de chaux parfaitement purs, obtenus au moyen du spath transparent et de divers acides, et les dissolutions neutres ou rendues alcalines ont été placées sous une cloche, reposant sur un plateau en verre; à côté, se trouvait une capsule renfermant des cristaux de carbonate d'ammoniaque, de sorte que la vapeur de ce corps précipitait peu à peu du carbonate de chaux des dissolutions. La plupart de ces dépôts cristallins, lavés et séchés, ont

présenté les deux effets lumineux au phosphoroscope, et les dissolutions de chlorure ont donné des teintes orangées plus intenses que les autres. Cependant, en faisant dissoudre du chlorure de sodium à saturation dans une dissolution de chlorure de calcium pur, le précipité de carbonate obtenu n'a offert que la teinte bleue. On sait en effet que les sels renfermés dans le dissolvant peuvent influer sur la forme du corps qui cristallise; ils peuvent donc influer aussi sur leur état physique, et cet exemple vient montrer que dans ce cas l'état moléculaire est analogue à celui des rhomboèdres inverses de carbonate de chaux ainsi qu'à celui de l'arragonite.

J'ai fait dissoudre différents carbonates de chaux (spath d'Islande transparent, craie, nacre de perle) dans de l'eau renfermant de l'acide carbonique, et les dissolutions de bicarbonates exposées à l'air ont laissé déposer des petits cristaux de chaux carbonatée qui, dans le cas du spath, avaient au microscope la forme spathique; les autres ont donné des formes difficiles à déterminer, mais se rapprochant des formes métastatiques.

Il est probable, d'après ces expériences, que les deux effets lumineux présentés par le carbonate de chaux, même très-pur, ne tiennent pas à des mélanges de matières étrangères, et ne dépendent pas uniquement de la forme cristalline, puisqu'une même forme peut présenter des effets différents; ils dépendent donc d'un état moléculaire que l'analyse optique seule a permis jusqu'ici de reconnaître.

Ces deux genres d'effets sont analogues à ceux que présente le diamant; mais si avec ce dernier corps ils peuvent être étudiés séparément par une vitesse différente du phosphoroscope, avec le carbonate de chaux la durée de la persistance des effets bleus et rouges étant plus grande, ce n'est qu'en arrêtant tout à coup la roue de l'appareil qu'on pourrait les distinguer. Cependant, l'analyse par réfraction et, comme on va le voir, l'action des rayons de diverses réfrangibilités suffisent pour permettre l'observation de cette double action lumineuse.

Si, au lieu d'éclairer les fragments de carbonate de chaux à l'aide de la lumière blanche, on agit avec les différents rayons du spectre solaire, on observe des effets analogues à ceux qui ont été décrits à l'occasion du diamant, mais avec plus d'intensité, en raison de la plus grande vivacité de la lumière émise. Les fragments de spath d'Islande seulement orangés sont lumineux depuis l'orangé du spectre,

c'est-à-dire depuis une limite comprise entre C et D avec le maximum d'action vers D, jusqu'en H à l'extrême violet, où l'effet est encore appréciable. Si la matière offre les deux effets lumineux orangé et bleu-verdâtre, lorsque les rayons actifs correspondent au milieu du spectre vers F, la nuance émise par le corps devient bleuâtre, et depuis cette partie du spectre jusqu'au violet la teinte bleue l'emporte; cependant l'analyse de la lumière par réfraction montre que dans la lumière émise par l'influence des rayons bleus il y a encore de l'orangé. Si le cristal étudié est de l'arragonite, on trouve que ce corps n'est impressionnable que par le bleu, le violet et les rayons ultra-violet du spectre. On observe donc ici un effet semblable à celui dont on a parlé page 315, et si l'on promène le corps placé dans le phosphroscope depuis le violet prismatique jusqu'au rouge, la teinte du carbonate de chaux varie du bleu (quand il donne cet effet) jusqu'à l'orangé, les rayons émis n'ayant pas une réfrangibilité plus grande que celle des rayons actifs; seulement, comme avec le diamant, les nuances que l'on peut obtenir avec le carbonate de chaux ne sont que des nuances orangées ou du bleues plus ou moins vertes. On peut aussi, en se servant d'un écran de chromate jaune de potasse et d'un écran bleu formé par le sulfate de cuivre ammoniacal, rendre lumineux un cristal de spath métastatique ou de carbonate de chaux présentant les deux effets, et donner successivement à la même substance le pouvoir d'émettre une lumière orangée ou bleue-verdâtre avec la même vitesse du disque du phosphroscope.

L'action exercée par le carbonate de chaux et les modifications qu'elle peut éprouver permettront d'étudier l'état moléculaire de ce corps dans le test des coquilles et dans différentes roches calcaires, et on peut espérer que l'on aura quelques indications sur les conditions physiques qui ont existé lors de la formation du carbonate de chaux dans ces divers corps. Du reste, l'emploi du phosphroscope pourra être utilisé dans un grand nombre de circonstances comme servant à indiquer non-seulement la nature de certaines substances, mais encore leur état moléculaire.

Fluorure de calcium. — Le fluorure de calcium devient lumineux dans le phosphroscope, en présentant des changements de nuances plus nombreux que le carbonate de chaux et que le diamant. Dans le tableau suivant on a résumé les effets produits avec divers échantillons de spath-fluor, d'abord en les éclairant avec la lumière des dé-

charges électriques, comme il a été dit page 55, puis ensuite en les exposant dans le phosphoroscope à l'action de la lumière solaire, et enfin en les plaçant dans les rayons ultra-violetes sans faire usage de l'appareil.

Les expériences ont été faites avec différents échantillons de cristaux de spath-fluor, qui seront désignés par les numéros suivants :

Le n° 1 spath-fluor blanc très-limpide.

Le n° 2 spath-fluor jaune en cristaux cubiques.

Le n° 3 spath-fluor vert-bleuâtre.

Le n° 4 chlorophane verte très-lumineuse par élévation de température.

Le n° 5 spath-fluor bleu clair.

Le n° 6 spath-fluor violet.

Le n° 7 id.

Les fragments de ces corps ont été placés d'abord sur la tablette d'un excitateur universel, et l'on a examiné, après le passage d'une forte décharge électrique excitée près de leur surface, quelle était la couleur de la lumière émise ; cette lumière correspond donc à une persistance plus grande qu'une demi-seconde. On les a étudiés ensuite dans le phosphoroscope à l'aide de la lumière solaire concentrée avec une lentille. On a eu :

LUMIÈRE ÉMISE APRÈS L'ÉTINCELLE.

LUMIÈRE DANS LE PHOSPHOROSCOPE.

N° 1. Faible, nuance indécise.		Faible, nuance indécise.
N° 2. Id.	{	Orangée faible quand le phosphoroscope tourne lentement, puis verte-jaunâtre avec une plus grande vitesse.
N° 3. Bleue-indigo, assez vive.	{	Bleue quand le phosphoroscope tourne lentement. Violette, puis orangée et enfin verte quand on augmente graduellement la vitesse de l'appareil.
N° 4. Verte, très-vive.....	{	Bleuâtre pour un mouvement lent, puis jaune-orangée et ensuite verte olive très-vive quand la vitesse est plus grande.
N° 5. Bleue.....		Bleu faible.
N° 6. Bleu-indigo, assez vive.	{	Jaune orangé, puis vert jaunâtre quand l'appareil tourne plus rapidement.
N° 7. »	{	Jaune orangé, puis vert quand l'appareil tourne plus rapidement.

Quant aux effets observés dans les rayons ultra-violetes, ils n'ont été sensibles qu'avec les échantillons n° 3, n° 5, n° 7, qui sous leur influence ont seuls présenté une lumière bleue.

Malgré la différence des effets produits on reconnaît une ten-

dance de la matière à présenter trois nuances différentes dans le phosphoroscope : 1°, une émission de rayons, bleus de longue durée ; 2°, une lumière jaune-orangé d'une durée plus courte ; et enfin 3°, des rayons verts d'une persistance moindre. Les cristaux de spath fluor n° 3, et surtout la chlorophane n° 4 présentent très-nettement ces différents changements.

On sait que si l'on élève la température des fragments de fluorure de calcium colorés, ces fragments deviennent phosphorescents jusqu'à ce qu'ils aient perdu toute leur couleur ; dans cet état ils ne sont plus aptes à devenir phosphorescents par une nouvelle élévation de température. L'expérience a montré que les fragments ainsi décolorés donnent dans le phosphoroscope les mêmes effets qu'avant l'action de la chaleur. L'émission lumineuse qui accompagne l'action de la chaleur, laquelle est en rapport avec l'effet lumineux qui suit l'insolation, n'indique donc pas une destruction de l'état moléculaire en vertu duquel l'effet se produit dans le phosphoroscope, puisque cet effet persiste même après que la matière a cessé d'être phosphorescente par élévation de température.

Le fluorure de calcium présente des effets remarquables quant à la composition de la lumière émise et à la réfrangibilité des rayons actifs ; nous prendrons pour exemple l'échantillon de fluorure de calcium n° 4, (chlorophane ou fluorine verte) comme présentant les effets les plus marqués.

Si l'on analyse la lumière émise en éclairant le corps avec la lumière solaire blanche et en tournant très-lentement la roue du phosphoroscope, on voit que le spectre se compose d'une partie bleue δ (fig. 39, n° 9) qui se prolonge jusque dans le vert, et qui donne la lueur bleu-verte indiquée plus haut. En tournant plus vite l'appareil, et pour une durée de persistance qui n'est pas moindre que $\frac{1}{200}$ de seconde, on voit apparaître une bande orangée assez vive ϵ ainsi qu'une autre α moins lumineuse, et une bande verte assez étroite γ ; quant à la teinte bleue δ , elle subsiste toujours. Enfin, quand on fait tourner encore plus rapidement le phosphoroscope et pour une durée de persistance qui ne dépasse pas $\frac{1}{1000}$ de seconde, et qui peut être moindre, aux parties lumineuses précédentes vient s'ajouter une bande verte γ' , très-voisine de γ , et même avec une certaine vitesse, les deux bandes se réunissent en une seule, et l'on aperçoit également un peu de lumière entre ϵ et γ' .

On voit que les changements de nuance correspondent à des parties du spectre différentes : les rayons les plus réfrangibles persistent plus longtemps, puis les moins réfrangibles, et enfin ceux de la partie moyenne du spectre. Ces résultats montrent que le fluorure de calcium, comme le diamant et le spath d'Islande, donne des effets lumineux successifs sans que les rayons qui ont une moindre durée détruisent ceux qui persistent plus. Cependant, on doit remarquer qu'au moment où l'on fait tourner l'appareil de plus en plus rapidement, sans dépasser la vitesse de 300 tours par seconde, il semble que la lumière qui était répandue dans tout l'espace compris entre δ et γ' diminue d'intensité. Mais je n'ai pu distinguer si l'effet ne résulte pas d'une illusion d'optique due à ce que, les espaces voisins de la partie du spectre dont il est question et surtout γ' augmentant d'intensité, $\delta\gamma'$ devient en apparence plus sombre.

Si l'on suit les changements lumineux qui résultent de l'action des rayons différemment réfrangibles sur le fluorure de calcium, on trouve des effets plus complexes qu'avec l'alumine, le diamant et le carbonate de chaux, précisément par ce motif que la persistance de ces différents effets varie dans des limites plus étendues. Il faut opérer avec la fluorine verte pour obtenir les résultats dont il va être question : les limites des parties actives du spectre sont d'une part l'orangé ou près de la ligne C, et d'autre part les rayons ultra-violet. Il y a un premier maximum d'action près de E dans le vert et un autre vers G dans le bleu indigo ; entre ces deux maxima se trouve une partie du spectre où l'action est beaucoup moins vive, et qui correspond au commencement du bleu en F. Si l'on cherche à reconnaître les nuances émises, on remarque que dans le premier maximum, le fluorure placé dans le phosphoscope a une teinte plus verte, et que cette teinte devient orangé très-faible dans l'orangé à la limite de la partie active du spectre solaire ; mais la lumière émise par ce mode d'expérimentation est trop faible pour permettre une analyse complète à l'aide d'un prisme. On ne peut parvenir qu'en éclairant successivement le corps dans le phosphoscope à l'aide de rayons qui ont traversé différents écrans colorés, comme l'indique la figure 38, page 335, et en analysant la lumière mise à l'aide du prisme en sulfure de carbone.

On a placé successivement sur la route de la lumière incidente avant son action sur le fluorure de calcium (fluorine verte), disposé dans le phosphoscope, les écrans colorés ci-après désignés ;

- 1° Aucun écran ;
 2° Un écran bleu, formé par une dissolution ammoniacale de sulfate de cuivre ;
 3° Un écran vert, fait avec une dissolution de bichlorure de cuivre ;
 4° Un écran jaune, formé par une dissolution de chromate de potasse ;
 5° Un écran orangé, fait avec une dissolution de bi-chromate de potasse ;
 6° Un verre rouge, coloré par le protoxyde de cuivre.

On a ensuite successivement examiné la teinte du fluorure de calcium quand on a mis le phosphoroscope en rotation, ainsi que la composition de la lumière émise au moyen de la réfraction dans un prisme. On a eu :

ÉCRANS.	TEINTE DU FLUORURE.	COMPOSITION DE LA LUMIÈRE ÉMISE.
Sans écran (n° 1).	Verte bleuâtre, puis orangée et verte très-vive, suivant la vitesse du phosphoroscope.	On voit successivement les parties du spectre α , β , $\gamma\gamma'$ et δ représentées planche fig. 34, n° 9.
Écran bleu (n° 2).	Id., mais moins vive.	Id., mais les teintes moins vives surtout $\gamma\gamma'$; β est plus pâle et α à peine visible.
Écran vert (n° 3).	Verte, très-vive.	δ est faible et peu étendu; $\gamma\gamma'$ très-intense et β faible.
Écran jaune (n° 4).	Id.	Id. $\gamma\gamma'$ intense, mais β assez net et α faible.
Écran orangé (n° 5).	Orangée.	δ faible, $\gamma\gamma'$ à peine visible, β et α bien nets.
Écran rouge (n° 6).	Lueur faible sans teinte bien appréciable.	L'effet lumineux est trop faible, pour distinguer la réfrangibilité des rayons et leur couleur.

On voit, d'après ce tableau, que la partie moyenne du spectre ou la partie verte exerce une action toute spéciale et différente de celle des deux extrémités du spectre solaire ; elle donne lieu à une émission de rayons verts très-intenses et d'une courte durée, qui produisent l'image moyenne verte $\gamma\gamma'$, n° 9. Les rayons les plus réfrangibles, ou la partie FG du spectre, peuvent exciter des rayons des diverses réfrangibilités avec des intensités et des durées inégales, et les rayons orangés ne donnent avec quelque intensité que du jaune et de l'orangé.

Il y a une remarque que je dois faire ici : on a vu qu'avec les écrans orangés, jaunes et verts, qui ne laissent passer que les parties du

spectre comprises entre A et F, on avait dans l'analyse de la lumière émise quelque indice de la portion δ , moins longue, il est vrai, que dans le n° 9, mais correspondant au vert et au bleu et par conséquent étant plus réfrangible que les rayons actifs ; d'un autre côté, avec l'écran de verre rouge on a une lueur extrêmement faible sans teinte nette, mais qui m'a paru blanche-verdâtre. Ces lueurs, très-faibles il est vrai, mais cependant appréciables, tendaient à montrer que des rayons lumineux pouvaient donner lieu dans certains cas à de la lumière dont la longueur d'onde est plus courte que celle des rayons actifs, ce qui est contraire aux observations faites jusqu'ici avec les autres corps. J'ai pensé qu'il y avait peut-être là une action secondaire venant compliquer l'effet du rayonnement lumineux : comme la fluorine est assez vivement phosphorescente par l'action de la chaleur, et que le corps placé dans le phosphroscope et au foyer de la lentille est échauffé pendant l'expérience, quand on opère avec les écrans rouges, jaunes ou verts, on doit observer simultanément l'action de la lumière et l'action de la chaleur. C'est en effet ce qui a lieu : pour le prouver, on fait chauffer préalablement un fragment de fluorure de calcium ; il émet la lumière due à la phosphorescence par élévation de température, puis quand il est revenu à la température ordinaire, et qu'il a perdu sa couleur propre, on le place de nouveau dans l'appareil. L'action de la lumière donne le même effet que précédemment avec les écrans bleus ou sans écran, mais toute trace correspondante à δ n'apparaît plus avec les écrans rouges, jaunes et verts ; on retrouve alors les effets observés avec les autres matières. .

On peut conclure de là qu'il n'en est pas de même de la chaleur et de la lumière ; l'action calorifique excite des rayons lumineux de toute longueur d'onde, tandis que jusqu'ici l'action lumineuse ne donne lieu qu'à des rayons d'une longueur d'onde plus grande ou au moins égale à celle des rayons actifs.

Le fluorure de calcium permet encore de conclure que les rayons de diverses réfrangibilités peuvent exciter les rayons différemment entre eux de réfrangibilité et ayant des durées de persistance inégales ; indépendamment de cela, il n'y a aucune relation entre la durée et la réfrangibilité de la lumière émise.

On peut demander si lors de l'action de la lumière blanche les effets des différents rayons qui la composent doivent tous s'ajouter, et si quelques phénomènes analogues à ceux des interférences ne pour-

raient pas avoir lieu. Je puis seulement répondre que je n'en ai pas vu core observé, et que la lumière blanche m'a paru jusqu'ici donner la somme des effets observés séparément avec les différents rayons colorés.

Phosphate de chaux. — Le phosphate de chaux, principalement le phosphate naturel, est une substance dont l'action est assez vive. Le bi-phosphate de chaux artificiel en paillettes a une faible action : fondu, il est transparent, et donne une lumière jaune-orangée de moyenne intensité ne changeant pas de nuance quand on fait varier la vitesse du phosphoroscope. En analysant la lumière émise par ce dernier corps avec le prisme en sulfure de carbone, on ne voit qu'une seule partie lumineuse sans apparence de maxima ni de minima d'intensité; elle occupe l'orangé, le jaune et une partie du vert, c'est-à-dire l'espace Cb.

Un cristal de phosphate de chaux naturel blanc (apatite) rendu actif par la lumière blanche a donné une action lumineuse assez vive jaune-verdâtre, et une seule trace lumineuse vue au travers du prisme comme le phosphate artificiel fondu. Le phosphate vert a présenté au contraire une action particulière et une composition lumineuse remarquable : des fragments de cristaux trouvés près de Jumillac, et ayant une couleur naturelle légèrement verte, ont émis une lumière verte quand le phosphoroscope a tourné lentement, et la teinte est devenue de plus en plus orangée à mesure que l'appareil a tourné plus rapidement; le maximum a semblé atteint quand le disque du phosphoroscope a fait cent révolutions par seconde, c'est-à-dire pour une durée de persistance lumineuse de $\frac{1}{100}$ de seconde.

Vue avec le prisme, l'image se compose de trois bandes lumineuses α , β , γ , équidistantes, fig. 39, n° 8, α étant orangé-rouge, β orangé et γ vert. Lorsque l'on fait varier la vitesse du phosphoroscope, la bande verte γ apparaît la première, puis les deux autres avec une vitesse plus grande. Les parties intermédiaires entre α , β et γ sont obscures, mais au delà de γ il y a une faible traînée de lumière verdâtre. La position de la bande orangée β est à noter, car elle correspond à celle de la bande lumineuse β , n° 9, du fluorure de calcium et à la position du maximum de lumière dans le spectre donné par la lumière de la chaux et par celle du spath d'Islande, n° 6. On retrouve encore une émission de lumière de cette réfrangibilité avec les composés où l'effet lumineux de la chaux est prédominant.

En étudiant le spectre obtenu quand on se sert de la disposition re-

présentée figure 38, la lumière émise n'est pas assez vive et l'image est trop large pour que l'on puisse distinguer des raies noires. Cependant, il existe des raies dans les images prismatiques, et je ne doute pas que dans la lumière émise par d'autres corps il n'en soit de même. Il suffit, pour s'en convaincre, d'opérer comme on l'a indiqué pour le rubis et le spinelle, en fixant le fragment de phosphate de chaux vert sur la fente du collimateur H; si l'on place alors en E l'écran bleu foncé, et que l'on enlève le phosphoroscope pour laisser arriver directement la lumière bleue concentrée sur le corps, on distingue avec la lunette G l'espace lumineux ϵ au milieu et à côté duquel se trouvent quelques raies noires très-fines. Mais les parties α et γ ne sont pas distinctes en opérant de cette manière, c'est-à-dire n'apparaissent pas nettement par l'action des rayons bleus.

Un fragment d'un gros cristal de phosphate légèrement vert (phosphorite) impressionné par la lumière blanche a donné les trois bandes α , ϵ et γ , mais avec de la lumière répandue dans toute la partie $\alpha\gamma$, de façon à rendre les limites de ces espaces moins nettes qu'avec la phosphorite chrysolite de Jumillac. Je dois faire remarquer que j'ai employé des fragments de cette dernière substance, de même que des fragments de nitrate d'urane, afin d'avoir simultanément avec les spectres donnés par des corps placés dans le phosphoroscope, des lignes lumineuses parfaitement fixes dont les positions servent de points de repère aux bandes lumineuses ou obscures qui traversent les images prismatiques.

Le phosphate de chaux naturel violet a été plus vivement lumineux que le phosphate vert, en présentant une teinte jaune légèrement verdâtre qui n'a pas varié avec la vitesse du phosphoroscope; vu avec un prisme, il n'a donné qu'une image prismatique comprise entre les positions C et F des raies noires du spectre solaire, et dont le maximum d'action a semblé correspondre à la bande γ du phosphate de chaux vert, n° 8.

Si l'on examine quelle est l'étendue active du spectre solaire sur le phosphate de chaux et quelle est la réfrangibilité des rayons émis, on observe plusieurs maxima d'action, de même qu'en étudiant l'action du spectre solaire sur certains sulfures de strontium et de calcium, comme on l'a fait dans le premier Mémoire. Le phosphate de chaux vert donne cet effet avec beaucoup de netteté; le phosphate violet le produit également, mais d'une manière moins tranchée. Pour l'observer, il faut faire passer par tous les points d'un petit spectre très-lumineux, un

fragment de phosphate placé au milieu du phosphroscope : on reconnaît alors que dans les rayons violets il y a une action qui augmente en avançant vers le rouge; dans l'indigo, près de G, cette action a un maximum d'intensité; en passant dans une partie moins réfrangible, l'action diminue bientôt, et en s'approchant de F, à la limite du bleu et du vert, elle augmente de nouveau et l'on observe un second maximum plus fort que le premier; puis l'action va en diminuant jusqu'à l'orangé. Il est probable que d'autres substances donnent lieu à des différences de même ordre, mais d'une manière moins tranchée.

En se servant d'écrans colorés, le phosphate de chaux ne présente que de très-faibles changements de nuance. Les parties osseuses des animaux, comme les os, les dents, sont assez vivement lumineuses; mais comme, indépendamment du phosphate de chaux, elles renferment du fluorure de calcium, l'effet produit est dû à la réunion de plusieurs matières impressionnables.

Silicates de chaux. — Le silicate de chaux donne une lumière jaune et verte, comme les autres composés de chaux dont nous avons déjà parlé. La wollastonite (bi-silicate de chaux) offre deux nuances bien différentes, suivant la vitesse du phosphroscope; quand on l'éclaire avec de la lumière blanche, cette matière est rouge-orangée lorsque le disque de l'appareil tourne très-lentement, et devient presque immédiatement verte lorsque l'appareil tourne plus rapidement. L'image prismatique donnée par la lumière émanée du corps n'offre pas d'alternative de lumière et d'obscurité, et va depuis la raie C du rouge jusqu'à moitié de la distance de D à F.

Avec cette matière, comme avec les substances qui donnent des rayons de diverses réfrangibilités, et qui ont par conséquent un spectre lumineux d'une certaine étendue, on retrouve les mêmes effets qu'avec le fluorure de calcium, le carbonate de chaux, le diamant, etc., c'est-à-dire que la réfrangibilité de la lumière incidente a une grande influence sur celle des rayons émis par les corps. Si l'on place sur la route du faisceau de rayons solaires qui pénètre dans l'appareil un écran jaune de chromate de potasse, le bisilicate de chaux est jaune et reste jaune-orangé, quelle que soit la vitesse de l'appareil; car on a vu qu'un corps ne donne pas de rayons d'une réfrangibilité plus grande que celle des rayons actifs. Avec un écran de sulfate de cuivre ammoniacal, la lumière émise par le corps est de couleur verte.

Il y a un très-grand nombre de minéraux dans la composition des-

quels entrent la silice, la chaux, l'alumine et d'autres matières; souvent ces substances sont lumineuses, d'autres fois elles ne présentent aucune action. L'axinite ainsi que la tourmaline, qui sont des silico-borates d'alumine et de chaux, ne donnent aucun effet; cependant le silicate de chaux, le borate de chaux et l'alumine sont, séparément, des substances actives.

Le pyroxène et l'amphibole, qui sont des doubles silicates de chaux et de magnésie renfermant plus ou moins de fer, sont lumineux dans le phosphoroscope, le pyroxène l'étant un peu plus que l'amphibole, en raison peut-être de la plus grande proportion de chaux qu'il contient. Dans l'un comme dans l'autre minéral, les variétés incolores ou peu colorées sont seules actives; quand la proportion de fer dépasse une certaine limite, on n'observe plus aucun effet. La variété de pyroxène appelée diopside, blanche ou légèrement verdâtre, donne une lumière jaune-orangée, dans laquelle on reconnaît le caractère de coloration des composés de chaux; le spectre obtenu avec la lumière émise par ce corps est représenté pl. fig. 39, n° 41 : on distingue une bande lumineuse α , voisine de la ligne C, puis un espace obscur $\alpha\delta$, et ensuite une bande faiblement lumineuse allant jusque près de F. L'amphibole trémolite donne aussi une lumière jaunâtre, mais moins vive que le pyroxène; il en est de même de l'amiante.

Le sphène, qui est un silico-titanate de chaux, est impressionnable et donne une lumière jaune-orangée de moyenne intensité; cette lumière, comme celle émise par les deux minéraux précédents, ne change pas sensiblement de nuance quand on fait varier la vitesse du phosphoroscope.

La leucophane, dont il a été déjà question antérieurement (double silicate de chaux et de magnésie, renfermant du fluorure de sodium), est une substance dont la composition est fort complexe, mais qui donne une action vive dans le phosphoroscope. Éclairée avec la lumière solaire blanche, elle offre une émission de lumière orangée dont le spectre est représenté fig. 39, n° 40. Ce spectre est formé de cinq parties lumineuses séparées par des intervalles obscurs : une portion rouge α est très-pâle; la bande δ orangée est assez vive; ensuite vient une bande verte γ moins brillante et séparée d'une autre partie verte beaucoup plus faible par un espace obscur; enfin en δ se trouve un espace bleu de faible intensité et dont les limites sont mal définies. En somme, sous le rapport de la lumière émise, la substance dont il s'agit se rapproche plus du fluorure de calcium que tout autre corps.

L'étendue de la partie active du spectre solaire sur cette substance est assez grande, et l'on y remarque deux maxima d'action, l'un vers F, l'autre près de G, comme avec le phosphate de chaux; seulement, les effets ne sont pas aussi tranchés que lors de l'emploi de cette dernière substance.

Quant à ce qui concerne l'action de rayons différemment réfrangibles sur ces divers silicates, on ne pourrait répéter que ce qui a été dit plus haut à propos des autres corps : la réfrangibilité des rayons émis dépend de la réfrangibilité des rayons actifs, et n'est pas plus grande, de sorte qu'en prenant pour rayons incidents les rayons orangés, jaunes, verts ou bleus, la substance active présente des changements de nuance faciles à prévoir et analogues à ceux du fluorure de calcium, du phosphate et du bisilicate de chaux.

Sulfures de calcium. — Les sulfures de calcium, qui sont compris parmi les phosphores artificiels décrits dans le chapitre I^{er}, sont lumineux dans le phosphroscope, et donnent en général une lumière analogue à celle qu'ils répandent pendant un temps assez long après leur exposition préalable à la lumière solaire ou diffuse. Quand on veut les placer dans le phosphroscope, comme ils sont opaques, il suffit d'en réduire en poussière une petite quantité, et de fixer cette poussière sur une lame de mica avec de la gomme arabique, pour observer les effets lumineux pendant le mouvement de l'appareil.

Les sulfures qui ont été examinés particulièrement sont :

Le sulfure de calcium lumineux rouge orangé.

Le sulfure de calcium lumineux vert.

Le sulfure de calcium lumineux bleu.

Les deux premiers n'ont donné que des nuances orangées et vertes, avec une composition lumineuse analogue à celle présentée par le spath et par l'arragonite, sans indication de raies noires ou de bandes lumineuses. Le troisième a donné une teinte bleue très-belle, mais plus ou moins claire suivant sa préparation. Si le sulfure bleu a été préparé par la calcination de coquilles d'huitres avec le persulfure de potassium, les fragments de ces coquilles sont bleus quand le phosphroscope tourne lentement, et deviennent tantôt blancs, tantôt jaunâtres quand il tourne vite, preuve de la présence d'une matière (la chaux) dont l'effet s'ajoute à celui du sulfure bleu, pour changer la composition de la lumière émise.

En choisissant un fragment très-lumineux et qui donnait cette teinte

blanche, la lumière émise, analysée avec le prisme, a présenté une étendue prismatique presque égale à BH avec un minimum d'action dans le vert près de E.

Ce même fragment après avoir été préalablement échauffé puis refroidi dans l'obscurité a été placé dans le phosphoroscope; en l'éclairant avec des rayons rouges, orangés, etc., il a présenté les effets suivants :

Ecrans.	Teinte de la matière.
Verre rouge.....	aucun effet appréciable.
Écran orangé (bichromate de potasse).....	orangée.
— jaune (chromate jaune de potasse).....	jaune.
— vert (bichlorure de cuivre).....	jaune.
— bleu (sulfate de cuivre ammoniacal).....	bleu clair.
Lumière blanche.....	blanche.

L'analyse par réfraction de la lumière émise montre donc qu'à mesure que la réfrangibilité de la lumière active augmente, le spectre gagne en étendue, et qu'il n'y a pas de rayons émis plus réfrangibles que les rayons actifs. Si, au contraire, on commence par opérer avec la lumière blanche incidente, puis avec des rayons de moins en moins réfrangibles, on a pendant un certain temps avec les écrans jaunes et verts une trace de lumière bleuâtre correspondant à FG; cet effet est dû à ce que la matière, déjà impressionnée, étant fortement phosphorescente, luit également par élévation de température et par l'action de la lumière. On a donc des effets complexes comme avec le fluorure de calcium; pour les éviter, il faut, comme on l'a dit, élever préalablement la température du corps, et l'impressionner en commençant par les rayons les moins réfrangibles; on observe alors les mêmes effets qu'avec le fluorure de calcium et qu'avec la potasse, comme on le verra plus loin.

Il y a d'autres composés à base de chaux qui doivent leur impressionnabilité à la présence de cette substance; je ne les ai pas essayés tous, mais j'ai pu constater que le borate de chaux donne une émission de lumière verdâtre faible, peut-être plus jaune que l'acide borique fondu. Quelques échantillons de tungstate de chaux naturel ont donné de la lumière, d'autres sont restés inactifs. Différentes matières vitrifiées actives renferment également de la chaux, et je ne doute pas que cette

base ne donne quelque activité aux différents verres impressionnables. Dans le paragraphe suivant, au reste, je citerai la composition de verres dont j'ai pu étudier les effets lumineux.

§ 5. — *Composés à bases des métaux alcalins ou terreux.*

Composés à bases de potassium et de sodium. — A côté des substances contenant de la chaux, je devrais naturellement placer celles qui renferment de la strontiane et de la baryte ; mais comme il a d'abord été question des corps dont les actions dans le phosphoroscope sont les plus vives et les plus remarquables, je commencerai par indiquer les résultats donnés par la potasse et par la soude.

La potasse anhydre obtenue par la fusion de l'hydrate avec le potassium ne m'a pas donné d'action appréciable, mais l'hydrate de potasse ordinaire très-blanc et fondu est vivement lumineux, et offre même un changement de teinte dans le phosphoroscope, suivant la vitesse de cet appareil. En tournant très-lentement les disques, on a une émission de lumière bleue qui est assez persistante pour que la matière paraisse phosphorescente par les moyens ordinaires ; en augmentant la vitesse, la nuance passe au vert olive, et quand on arrive à une durée de persistance de $\frac{1}{4000}$ de seconde, il y a production d'une lumière verte très-vive et de la couleur de celle qu'émet le nitrate d'urané.

Quand on réfracte la lumière émise dans ce dernier cas, on trouve qu'elle renferme des rayons lumineux très-diversement réfrangibles, et l'image prismatique observée alors est une des plus étendues que l'on puisse avoir ; son spectre s'étend depuis la partie qui correspond à la raie B du spectre solaire jusqu'au delà de G, près de H, sans indication de bandes alternatives lumineuses et obscures. Cette émission de rayons différemment réfrangibles ayant des durées inégales rend assez étendus les changements de couleur que l'on peut obtenir en faisant varier la réfrangibilité des rayons actifs.

Si l'on cherche d'abord quelles sont les parties du spectre qui impressionnent l'hydrate de potasse, on trouve que cette substance devient lumineuse depuis le rouge orangé jusque bien au delà du violet ; si l'on fait passer alors successivement un fragment d'hydrate de potasse placé dans le phosphoroscope dans toutes les parties du spectre solaire depuis le violet jusque dans le rouge, on voit qu'il émet la lumière verte citée plus haut, depuis l'extrême violet jusque près du vert. Avec cette der-

nière couleur, la nuance passe au jaunâtre, puis au jaune, et devient orangée-rouge dans le rouge prismatique.

Cette succession de teintes peut être aussi observée en faisant usage des écrans colorés disposés comme l'indique la fig. 38, page 333 ; on a eu en effet :

Écrans placés sur la route des rayons incidents.	Couleur de la lumière émise par l'hydrate de potasse.
Verre rouge.	Aucune action appréciable.
Écran de bichromate de potasse.	Rouge-orangée.
— de chromate jaune.	Orangée-jaune.
— de bichlorure de cuivre.	Jaune-verte.
— de sulfate de cuivre ammoniacal.	Verte (moins vive qu'avec la lumière blanche).
Sans écran.	Verte, lumière vive.

Quand on analyse avec un prisme la lumière émise par ce corps dans ces différentes circonstances, on trouve que l'étendue du spectre est de plus en plus grande, à mesure que les écrans placés sur la route de la lumière incidente laissent passer des rayons de plus en plus réfrangibles, c'est-à-dire que l'on démontre encore avec cette substance que la longueur d'onde des rayons émis est plus grande que celle des rayons actifs. On voit, d'après ce résultat, que l'hydrate de potasse fondu est une des substances qui se prêtent le mieux aux changements de nuances que l'on fait naître suivant la réfrangibilité des rayons actifs.

L'hydrate de soude produit des effets analogues à ceux que donne l'hydrate de potasse, si ce n'est que cette substance donne une teinte plus bleue que cette dernière en tournant lentement l'appareil, et présente une teinte verte moins vive en tournant rapidement le phosphoscope ; du reste, les autres effets ont été analogues à ceux donnés par la potasse.

On a déjà dit précédemment, page 211, que les sels de potasse et de soude donnaient, par phosphorescence une émission de lumière en général verdâtre, mais de faible intensité ; on observe cet effet avec les nitrates, sulfates, chlorures, iodures, bromures, et avec la plupart des sels à bases de potassium et de sodium. Les borates fondus sont aussi dans ce cas : le borate de soude fondu (borax) donne une nuance jaune peut-être moins vive que le même composé à base de potasse.

Le silicate de potasse formé de 1 équivalent de potasse et de 1 équivalent de silice, fondu à la température rouge, donne une belle lumière verte en tournant rapidement la roue du phosphroscope; il semble que cette teinte soit analogue à celle que donne l'hydrate de potasse avec la même vitesse de l'appareil, et que la lumière plus bleuâtre et persistante que présente celle-ci avec une vitesse moindre ne soit pas appréciable. Le silicate de soude se comporte d'une manière analogue au silicate de potasse. Nous verrons plus loin que ces silicates donnent en grande partie aux différents verres (crown ou flint) les propriétés lumineuses dont jouissent ces derniers.

Composés à base de barium et de strontium. — Les combinaisons à base de barium et de strontium se comportent, en général, comme celles à base de calcium; les sels tels que les chlorures, nitrates, acétates, sont également lumineux et donnent des teintes jaunâtres et verdâtres. Mais, tandis que la chaux fortement calcinée est lumineuse, je n'ai pas observé que la baryte et la strontiane le fussent dans les mêmes conditions. Le sulfate de strontiane naturel est lumineux d'une manière assez marquée, tandis que celui de baryte ne donne pas d'action bien nette. On doit remarquer que les composés du strontium sont plus généralement impressionnables que ceux du barium et donnent des effets plus intenses.

En élevant à la température rouge blanc un mélange de 2 parties de strontiane caustique avec 1 partie de silice, on forme un silicate fusible qui est translucide et qui émet dans l'appareil une lumière jaunâtre faible.

Le carbonate de strontiane naturel donne une action assez vive, et l'on observe même un changement de couleur suivant la vitesse de rotation du phosphroscope. Le carbonate légèrement verdâtre du cap Strontian offre surtout cet effet : il donne d'abord une lumière verte qui passe à l'orangé quand le disque de l'appareil tourne plus rapidement. La lumière émise quand les rayons solaires impressionnent la substance, étant réfractée au travers d'un prisme en sulfure de carbone, donne un spectre représenté n° 12 planche fig. 39 : il se compose de trois bandes brillantes α , β , γ , qui correspondent à peu près aux trois bandes de la chaux phosphatée, n° 8; seulement, leurs limites ne sont pas aussi nettes, et la partie orangée β est la plus intense. On observe également une longue trace verte et bleue, peu intense et sans alternatives d'ombre et de lumière; cette portion de l'image prismatique est celle qui correspond

aux rayons dont la persistance est la plus grande, et qui donne la teinte bleue-verdâtre au carbonate quand le mouvement du phosphoroscope est très-lent. Cette substance, dont la longueur de l'image prismatique est assez grande, présente des changements de nuance quand on fait varier la réfrangibilité des rayons actifs, comme les corps dont on a parlé précédemment.

Je n'ai pas obtenu à l'état de fusion le silicate de baryte isolé, mais je ne doute pas qu'il ne présente un effet analogue à celui de strontiane et de chaux. L'harmotome, qui est un silicate d'alumine et de baryte hydraté, donne une lumière verte-jaunâtre faible. Le carbonate de baryte n'a qu'une action peu énergique, et la baryto-calcite (double carbonate de baryte et de chaux) devient lumineuse orangé à peu près de la même manière que le carbonate de chaux spathique.

Les sulfures phosphorescents de strontium et de barium donnent, de même que les sulfures de calcium, des effets lumineux très-vifs dans le phosphoroscope. On peut citer notamment :

Le sulfure de strontium phosphorescent rouge orangé n° 1 (1).

Le sulfure de strontium phosphorescent vert n° 3.

Le sulfure de strontium phosphorescent bleu violet n° 6.

Les images prismatiques n'ont manifesté aucune bande obscure. Celle produite par le sulfure de strontium n° 1 a été comprise entre la partie qui correspond à la raie noire C du spectre solaire et un tiers de la distance de D à F; le spectre de la lumière émise par le sulfure vert n° 3 s'est trouvé compris entre B et F, la partie verte étant très-vive; mais celui de la lumière due au sulfure bleu violet est remarquable en ce qu'il comprend l'extrémité du vert, le bleu et le violet, c'est-à-dire presque toute l'étendue F H du spectre lumineux solaire. Cette dernière matière phosphorescente, ainsi que le sulfure de calcium n° 5 cité plus haut, offrent les nuances bleues les plus vives que j'aie observées jusqu'ici avec les corps impressionnables.

Le sulfure de barium lumineux rouge orangé n° 1, voir page 139, et le sulfure de barium lumineux jaune n° 2 donnent des effets assez intenses. Le premier conduit à un spectre qui s'étend depuis la réfrangibilité qui correspond à α jusque près de E avec le maximum d'action entre B et D.

Parmi les composés de baryte qui sont lumineux d'une manière assez

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, tome 55, page 50.

vive, on doit citer encore l'oxamate de baryte, donnant un spectre qui s'étend entre D et B, et jusqu'en F, et qui émet une lumière blanche verdâtre sous l'action de la lumière ultra-violette du spectre.

Composés à base de zinc et de cadmium. — La blende hexagonale, dont il a été question au commencement de ce livre, page 240, peut offrir une persistance de longue durée (1); mais les cristaux blancs de ce composé, qui entourent les parties centrales lumineuses des préparations, et qui n'offrent pas une phosphorescence de longue durée, étudiés au phosphoroscope donnent une lumière propre d'un beau bleu pour une vitesse modérée de l'appareil, ce qui indique une persistance de phosphorescence de $\frac{1}{100}$ de seconde au plus. Les cristaux blancs ou jaunes qui sont au centre, et qui sont lumineux vert par un effet de phosphorescence de longue durée, donnent une lumière jaune-verdâtre pour la plus faible vitesse de l'appareil, puis changent de nuance à mesure que cette vitesse augmente et passent au bleu de façon à présenter une teinte moins foncée que les précédents, par suite du mélange de la lumière verte à la lumière bleue de courte persistance.

Ces derniers cristaux offrent donc par phosphorescence des rayons différemment réfrangibles de durée inégale : des rayons verts de longue durée et des rayons bleus de courte durée; mais si tous les échantillons que j'ai essayés présentent la couleur bleue, il n'y en a que quelques-uns qui soient lumineux vert et cela par un mouvement lent du phosphoroscope.

La blende hexagonale se rapproche donc des corps tels que le diamant et le silicate de chaux, dont on a parlé plus haut, et qui changent de nuance dans le phosphoroscope; mais les effets qu'elle présente sont à noter, car les substances qui donnent une belle couleur bleue dans l'appareil sont peu nombreuses. L'analyse par réfraction de la lumière émise n'indique qu'une lueur continue, et ne donne pas des lignes ou des bandes comme avec les substances dont il a été question précédemment.

Quelques composés à base de zinc sont lumineux dans le phosphoroscope, mais à un moindre degré; la calamine donne des nuances jaunes plus ou moins blanchâtres suivant les échantillons.

Le sulfure de cadmium cristallisé, obtenu par M. Sidot par volatilisation de la même manière que la blende hexagonale, vu dans le phos-

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 63, p. 143, 1866.

horoscope, n'offre pas une phosphorescence persistante comme cette substance, mais il devient lumineux avec une teinte orangée quand on fait tourner très-rapidement la roue de l'appareil; il donne donc une phosphorescence de cette nuance, mais de très-courte durée.

Composés à base de magnésium, de zirconium, de glucium. — La magnésie et un certain nombre de ses combinaisons deviennent lumineuses dans l'appareil. Si l'on fait calciner pendant longtemps de la magnésie, on a une matière pulvérulente qui est phosphorescente rouge avec une teinte analogue à celle que donne l'alumine, mais dont la lueur émise est beaucoup moins vive. Le carbonate de magnésie est également lumineux. La dolomie (double carbonate de chaux et de magnésie) émet une lumière analogue à celle que présente le spath d'Islande, mais plus rouge, effet de couleur que donne la dolomie quand elle est frottée avec un corps dur. Quant au silicate de magnésie (péridot) et au borate (boracite), ils n'ont donné aucune action appréciable. La condrolite, qui est un silicate de magnésie renfermant du fluor, donne une émission de lumière rouge-orangée assez faible.

Parmi plusieurs échantillons de zircon qui m'ont été remis, j'en ai trouvé un faiblement lumineux, d'autres sont restés obscurs; le premier était-il mélangé d'autres corps, ou bien cette matière, suivant son état physique, donne-t-elle des effets différents? C'est ce que je n'ai pu vérifier. Le zircon (silicate de zircon) a donné une émission de lumière jaune très-faible.

La glucine n'a pas présenté d'émission lumineuse appréciable, mais le carbonate de cette base offre une lumière verte assez vive. La phénakite (silicate de glucine naturel) est très-faiblement lumineuse sans teinte appréciable.

L'yttria, la thorine, etc., n'ont donné aucun effet digne d'être signalé.

Les différents verres, qui sont des silicates alcalins mélangés avec de l'alumine et des composés métalliques, deviennent lumineux avec plus ou moins d'intensité, et offrent des nuances vertes, quelquefois jaunâtres ou bleuâtres; les effets qu'ils présentent sont analogues à ceux des silicates alcalins dont on a parlé plus haut; voici la composition des verres qui m'ont donné des résultats assez nets. Les nombres rapportés ci-après indiquent les poids des substances fondues ensemble :

Couleur de la lumière émise dans le phosphoroscope
par l'action de la lumière blanche.

1°.	{ Silice 1 } Potasse 1 }	Verte.
2°.	{ Silice 1 } Chaux 1 } Borax 2 }	Jaune-orangée.
3°.	{ Borax 1 } Strontiane 1 } Silice 1 }	Verte.
4°.	{ Verre blanc 4 } Alumine calcinée. 1 }	Verte, action vive.
5°.	{ Verre blanc 2 } Alumine calcinée. 1 }	Verte ou rouge, suivant la vitesse du phosphoroscope.
6°.	{ Verre blanc 1 } Alumine calcinée. 1 }	Rouge-orangé.

Le verre n° 5 donne aussi un changement de nuances en changeant la réfrangibilité des rayons actifs.

§ 6. Sels d'uranium, platino-cyanures et substances diverses.

Sels d'uranium. — La plupart des composés d'uranium, cristallisés ou à l'état cristalin, donnent une forte émission de lumière dans le phosphoroscope; on peut citer parmi eux le nitrate, les chlorures, le fluorure double d'uranium et de potassium, le silicate (verre d'urane), etc.; certains sels amorphes, comme l'uranate d'ammoniaque, ne sont pas lumineux d'une manière appréciable. La lumière émise est en général verte très-vive, et il faut arriver à une vitesse assez grande du phosphoroscope pour que l'effet soit à son maximum; cette vitesse, comme on l'a vu page 273 et suivantes est telle, qu'elle correspond à une persistance de 3 à 4 millièmes de seconde.

La composition de la lumière émise est très-remarquable: si l'on place dans l'appareil un fragment de nitrate d'urane, et qu'on analyse la lumière à l'aide d'un prisme en sulfure de carbone, on reconnaît que le spectre est formé de parties brillantes, ou lignes brillantes, séparées par des parties complètement obscures; le n° 14 fig. 39 représente cette image prismatique. On distingue huit bandes lumineuses: la 1^{re} de couleur rouge est très-faible et se trouve comprise entre C et B; la 2^e est un peu plus intense, et est rouge-orangée; la 3^e est orangée et est tangente à D entre D et C; la 4^e est jaune-verte; la 5^e et la 6^e sont vertes et la 7^e bleu clair, car elle est tangente à F, et correspond à la partie

où le vert du spectre solaire finit et où le bleu commence ; la 8^e est très-peu distincte : elle se compose d'une partie bleue assez rapprochée de la 7^e bande, et a ses limites mal définies. En somme , parmi les huit parties lumineuses, 1 et 8 sont très-faibles et les six bandes intermédiaires, surtout 4, 5, 6 et 7, sont très-vives. Comme ces dernières ont une teinte plus ou moins verte, on comprend que le vert soit aussi la teinte dominante de la lumière émise avant la réfraction.

Ces huit bandes lumineuses ne sont pas tout à fait équidistantes : la 1^{re}, la 2^e, la 3^e sont également espacées ; la 4^e s'éloigne un peu plus de la 3^e que les précédentes, ainsi que la suivante ; la 6^e et la 7^e sont encore plus espacées ; quant à la 8^e, elle est assez voisine de celle qui la précède. Les différentes distances des lignes brillantes ont été prises au moyen du micromètre placé au foyer de l'oculaire de la lunette.

Le nitrate d'urane étant un corps très-lumineux dans le violet du spectre, on peut éclairer vivement un fragment de la substance avec les rayons ultra-violetes et analyser la lumière émise pendant l'action des rayons ; on trouve alors la même composition qu'avec le phosphoroscope, et les huit bandes précédentes sont placées aux mêmes distances que précédemment. Cette identité de composition, ainsi qu'on l'avait déjà vu avec le rubis, prouve bien que l'effet lumineux observé dans les rayons ultra-violetes et la phosphorescence observée dans le phosphoroscope sont un seul et même phénomène. Elle montre également que l'effet lumineux n'est pas dû à un état particulier qui suit seulement l'action de la lumière, mais que cet effet existe sous l'influence de celle-ci, car sous l'action des rayons violets l'émission lumineuse verte a lieu d'une manière continue, comme en faisant usage du phosphoroscope.

On peut également observer cette disposition des raies brillantes en plaçant en avant de la lunette H (fig. 38, page 335) un petit cristal de nitrate d'urane et en projetant sur ce cristal un faisceau de rayons qui a traversé un écran bleu de sulfate de cuivre ammoniacal ; dans ce cas, non-seulement on voit les sept bandes représentées n^o 14, mais entre F et G on aperçoit un espace éclairé par des rayons solaires bleus qui traversent le cristal, et cet espace est coupé de bandes noires qui paraissent continuer la succession des bandes brillantes de l'espace AF ; il semble que dans ces parties obscures la lumière bleue soit absorbée, et il est remarquable que cette absorption se fasse par des intervalles en rapport

avec les parties brillantes données par le corps lorsqu'il est placé dans la partie la moins réfrangible du spectre.

On a donné dans le chapitre III, page 315, les limites des parties actives du spectre solaire sur le nitrate d'urane : l'action commence à être sensible en F ; elle est très-vive depuis F jusqu'en H, et se prolonge très-loin jusqu'en P.

Si l'on place sur la route des rayons incidents des écrans différemment colorés, on ne voit pas changer sensiblement la teinte du nitrate d'urane ; ce résultat tient à ce que la couleur verte l'emporte beaucoup sur les autres nuances, et en outre, comme on vient de le dire, de ce que c'est seulement près de F, dans le bleu du spectre, que la matière commence à devenir impressionnable.

Un certain nombre de composés d'uranium jouissent des mêmes propriétés lumineuses que le nitrate, et entre autres le verre d'urane dans lequel l'oxyde est combiné à la silice. Si l'on analyse la lumière émise, on trouve un spectre dont les parties lumineuses ne sont pas nettement séparées les unes des autres comme avec le nitrate ; la lumière émise par le silicate de potasse ou de soude est probablement la cause de ce manque de netteté. Néanmoins, les six bandes intermédiaires 2, 3, 4, 5, 6, 7 ont leurs positions bien indiquées aux places des bandes correspondantes données par le nitrate d'urane ; 1 et 2 disparaissent dans la lumière qui est répandue uniformément dans tout le spectre.

Avec le fluorure double d'uranium et de potassium, le perchlorure d'uranium et l'uranite naturelle on a une émission de lumière verte, mais l'analyse conduit à la composition représentée n° 13. On voit sept bandes lumineuses, dont les cinq intermédiaires sont bien nettes et brillantes et 1 et 7 sont moins arrêtées et plus faibles ; mais il est remarquable que les bandes lumineuses, aux mêmes places pour les trois matières que l'on vient de nommer, n'occupent pas les mêmes positions qu'en opérant avec le nitrate et le silicate. Ces bandes sont intermédiaires ; 2 et 3 sont entre les positions des bandes analogues du nitrate d'urane et 5 et 6 sont plus rapprochées des bandes de même nuance de la fig. 13. On ne pourrait dire actuellement quelle est la cause de cette analogie de composition lumineuse avec ces composés d'uranium, et pourquoi l'on observe une série de bandes qui sont toutes repoussées, pour ainsi dire, du côté rouge ? Le degré d'oxydation n'y est pour rien, le chlorure, le fluorure et le nitrate étant des composés à base de sesquioxyde.

Le double sulfate d'urane et de potasse présente une image prismatique pour ainsi dire intermédiaire entre les deux images 14 et 15 représentées sur la planche figure 39, les bandes lumineuses étant repoussées vers le rouge, mais moins qu'avec le chlorure et le fluorure. On peut vérifier le fait très-simplement : il suffit de superposer dans un très-petit tube de verre lanc à parois très-minces des fragments de cristaux de nitrate d'urane, de double sulfate et de perchlorure de cette base, et de fixer ce tube verticalement dans le phosphoroscope. En éclairant simultanément les trois fragments, et en analysant la lumière émise à l'aide de la diffusion, on voit les trois images prismatiques superposées avec leurs bandes respectives dans des positions différentes. Il est possible, d'après cela, que d'autres composés à base de ce métal présentent un système de bandes lumineuses situées dans d'autres positions que celles dont on vient de parler.

Je ne connais pas encore la cause des positions différentes occupées par les bandes lumineuses des divers composés d'uranium ; l'analyse des faits donnés par un plus grand nombre de combinaisons de ce métal pourra peut-être l'indiquer.

Platino-cyanures. — Les platino-cyanures alcalins et terreux constituent une classe de sels qui sont doués de propriétés optiques remarquables, et qui dans le violet du spectre s'illuminent de nuances très-vives et très-brillantes.

L'acide platino-cyanhydrique même donne un effet bien manifeste, et devient bleu dans les rayons ultra-violets. Le platino-cyanure de potassium offre une belle nuance bleue. Celui de barium, comme celui de calcium, présente une teinte verte très-vive. Le platino-cyanure de magnésium donne une nuance rouge également très-vive ; en élevant la température de ce dernier, il se déshydrate, devient vert dans les rayons ultra-violets, mais en reprenant de l'eau il reprend la nuance rouge. Indépendamment de ces effets, ces sels sont doués d'une action de surface qui est telle, qu'à la lumière jour les rayons lumineux réfléchis offrent diverses nuances suivant la position des rayons incidents ; mais ces effets sont différents de ceux dont il est question ici.

Dans le phosphoroscope et jusqu'à la limite de 400 tours par seconde sur la vitesse de l'axe de cet appareil, ces matières ne donnent pas toutes des effets analogues à ceux observés dans les rayons ultra-violets : les platino-cyanures de barium, de calcium et celui de

magnésium chauffé préalablement, sont lumineux avec la même nuance verte dans le phosphroscope et dans les rayons violets; celui de potassium manifeste une autre nuance, et le platino-cyanure de magnésium rouge ne donne aucune action appréciable. La teinte donnée par le platino-cyanure de potassium est jaune-verdâtre d'une nuance assez vive, et la couleur verte du platino-cyanure de magnésium rouge ne devient vive que lorsque l'action des rayons solaires réfractés par la lentille enlève à cette substance sa teinte rouge et lui donne la teinte verte: il est présumable que si l'appareil pouvait recevoir un mouvement de rotation plus rapide, au delà d'une certaine limite, ces deux derniers platino-cyanures prendraient les mêmes teintes que dans les rayons ultra-violet.

En éclairant les platino-cyanures à l'aide des rayons violets et en analysant la lumière émise, j'ai bien observé que le platino-cyanure de potassium présentait deux maxima d'intensité, mais en somme je n'ai pas reconnu de bandes brillantes ou de raies noires.

Le platino-cyanure de magnésium, quand il reste rouge, donne des rayons compris entre des limites du spectre voisines l'une de l'autre, et par conséquent des rayons d'une couleur rouge-orangée assez uniforme; ces limites sont l'une voisine de C, l'autre comprise entre C et D. Cette substance étant chauffée, n'émet plus que des rayons compris depuis D jusqu'en F et dont la teinte est verte.

Le platino-cyanure de barium donne un spectre assez long; l'action lumineuse est comprise entre C et D, d'une part et F dans le commencement du bleu de l'autre. Le platino-cyanure de potassium présente dans les mêmes conditions une image allant depuis le rouge C jusqu'au violet, avec un indice d'un minimum d'action entre D et F; il est possible que la partie la moins réfrangible corresponde à la portion qui est visible dans le phosphroscope, et que la partie la plus réfrangible ait au contraire une persistance moindre.

Carbure d'hydrogène à teinte des sels d'urane. — Les substances organiques telles que la chlorophylle, l'esculine, le sulfate de quinine, se comportent de même que plusieurs platino-cyanures; le bisulfate de quinine est lumineux jaune dans l'appareil, mais on n'obtient pas avec la plus grande vitesse de l'appareil la teinte bleu claire que donne cette matière dans le violet du spectre solaire. Il y a cependant une substance organique qui n'est pas dans le même cas: c'est un carbure d'hydrogène solide sous forme de paillettes, à teinte des sels d'urane, et qui a

été obtenu par M. Fritzsche. Ce corps est très-lumineux dans l'extrême violet du spectre ; dans le phosphoroscope, il commence à devenir visible quand le disque est à son maximum de vitesse, et émet la même nuance verte ; de plus, en analysant la lumière émise par le corps dans l'appareil ou bien lorsque ce corps reçoit la lumière ultra-violette, on trouve dans les deux cas la même composition. Le n° 13 donne le spectre de la lumière émise par cette substance ; il se compose de 4 espaces lumineux 1, 2, 3, 4, séparés par trois bandes noires, celle du milieu était un peu plus large que les deux autres : le 1^{er} espace lumineux est orangé, le 2^e est orangé d'un côté et vert de l'autre, le 3^e et le 4^e sont verts. Il y a identité de composition de la lumière émise quand le corps est placé dans le phosphoroscope ou quand il est excité par les rayons ultra-violet du spectre, ainsi que cela a lieu pour le rubis, les sels d'urane, etc., ce qui montre que si l'on pouvait estimer avec l'appareil des intervalles de temps plus petits que $\frac{1}{4000}$ de seconde on rendrait lumineuses plusieurs des substances organiques citées plus haut.

La naphthaline donne l'exemple d'un carbure d'hydrogène solide qui est lumineux violet dans les rayons ultra-violet du spectre, et qui n'est pas visible dans le phosphoroscope.

Acide borique. — Je pourrais encore citer ici un grand nombre de corps, mais je me bornerai à l'acide borique. Cette substance quand elle est cristallisée est phosphorescente vert, mais ne donne qu'une image prismatique sans apparence de bandes obscures. Lorsqu'elle a été fondue préalablement, elle apparaît jaune dans le phosphoroscope avec une faible vitesse de rotation des disques, et cette teinte passe au verdâtre quand l'appareil tourne plus rapidement ; lorsqu'on examine le spectre des rayons lumineux émis dans ce dernier cas, on observe quelques bandes noires qui traversent l'espace situé entre les raies noires F et G du spectre solaire ; mais le peu d'intensité de la lumière émise n'a pas permis d'indiquer exactement leur position.

On peut représenter dans le tableau suivant les effets les plus remarquables donnés par les substances étudiées dans ce chapitre, en indiquant les différents changements de nuances quand on les place dans les différents rayons du spectre ou dans le phosphoroscope :

CORPS IMPRESSIONNABLES.	TEINTE DE LA LUMIÈRE ÉMISE DANS LE PHOSPHOSCOPE,		TEINTE de la lumière émise par le corps dans les rayons ultra-violet.	ÉTENDUE de la partie active du spectre solaire.	
	lorsque le corps est éclairé par la lumière solaire.	lorsque le corps est éclairé par les rayons différemment réfrangibles depuis le violet jusqu'au rouge.			
Diamant.	Jaune ou bleue suivant les échantillons et la vitesse du phosphoscope.	Variable du bleu au jaune suivant les échantillons.	Bleue avec certains échantillons.	De D jusqu'à P.	
COMPOSÉS alumineux. Alumine (amorphe ou cristallisée, coryndon, saphir). Rubis et spinelle. Diathène. Topaze.	Rouge.	Rouge.	"	De A à P.	
	Rouge. Rouge. Rouge (persistance moindre qu'avec les corps précédents).	Rouge. Rouge. Rouge.	Rouge. " " " "	De A à P. De A à P. De A à P.	
	Carbon. de chaux.	Orangée ou bleuâtre.	Bleuâtre et orangée.	"	De C jusqu'au delà de H. Varie avec les échantillons.
	COMPOSÉS à base de chaux. Fluorure de calcium. Phosphate de chaux (phosphorite). Silicate de chaux (wollastonite). Leucophane.	Bleue, jaune-orangée et verte, suivant la vitesse du phosphoscope.	Variable du bleu verdâtre au vert et à l'orangé.	Quelquefois bleue.	Id.
Verte et orangée suivant la vitesse de l'appareil.		Variable du vert jaunâtre à l'orangé.	"	Id.	
Rouge-orangée, et verte suivant la vitesse de l'appareil.		Variable du vert à l'orangé.	"	Id.	
Orangée.		Id.	"	"	
Carbonate de strontiane.	Verte et orangée, suivant la vitesse de l'appareil.	Id.	"	"	
Hydrate de potasse.	Bleuâtre et verte.	Variable du bleuâtre à l'orangé en passant par le vert et le jaune.	Id.	"	
Silicate de potasse (verres divers).	Verte plus ou moins bleuâtre.	"	En général verdâtre.	"	
Acide borique cristallisé.	Verte bleuâtre.	"	"	"	
Nitrate d'urane, verre d'urane, chlorure d'uranium, phosphate, sulfate double d'urane et de potasse.	Verte.	Verte.	Verte.	De F à P.	
Carbure d'hydrogène à teinte de sels d'urane.	Verte.	Verte.	Verte.	De F à P.	
Bisulfate de quinine.	Jaune.	Jaune.	Bleu clair.	"	
Naphtaline.	Inappréciable.	"	Violette.	"	
PLATINO-CYANURES. (De magnésium. De magnésium chauffé. De potassium. De Barium.)	Inappréciable.	Inappréciable.	Rouge.	"	
	Verte.	Verte.	Verte.	"	
	Jaunâtre. Verte.	Jaunâtre. Verte.	Bleu clair. Verte.	" "	
Sulf. alcalino-terreux phosphorescents.	Lueurs diverses.	"	"	"	
Sulfure de zinc (blende hexagonale.)	Verte ou bleue (suivant la vitesse de l'appareil.)	"	"	"	

On voit que l'étude attentive de la composition de la lumière émise par les corps phosphorescents conduit à cette conséquence importante, que les corps peuvent émettre simultanément des rayons lumineux de réfrangibilité différente pendant des temps bien inégaux, et que les raies brillantes ou obscures que présentent les corps rendus lumineux par action propre sont dépendantes de la nature de ces corps, leur état physique ne faisant varier en général que l'intensité de la lumière émise.

Les raies noires que l'on observe dans les images spectrales données par des rayons émis par certaines substances, et qui sont très-tranchées quand on emploie les rubis et les spinelles, doivent attirer particulièrement l'attention. En effet, dans cette circonstance, la lumière émise par ces corps en vertu de leur action propre ne traverse que la faible couche d'air qui les sépare de l'observateur ainsi que les verres des lunettes avec lesquelles on les observe; il faut donc, si ces raies sont dues à une absorption de rayons, que cette absorption ait lieu dans l'épaisseur même de la couche solide d'où émane la lumière, à moins qu'elles indiquent simplement une absence d'émission lumineuse. En tout cas, l'on voit que d'autres causes que l'absorption de la lumière par l'action de matières gazeuses ou de vapeurs incandescentes peuvent donner lieu à des raies noires dans les images prismatiques, comme on l'avait annoncé dans le livre IV, page 165; il pourrait donc se faire que des raies noires observées dans le spectre de certaines sources lumineuses ne proviennent pas des atmosphères gazeuses qui les environnent.

CHAPITRE V.

Influence de l'état et de la nature des corps sur les effets de phosphorescence par insolation. Extinction des rayons actifs; rayonnement des corps phosphorescents.

§ 1. *Influence de la température; action temporaire.*

L'intensité et la réfrangibilité de la lumière émise par une substance phosphorescente dépend autant de son état calorifique que de sa cons-

titution physique. On va voir en effet qu'à une température donnée une substance prend un état d'équilibre moléculaire d'après lequel elle émet des rayons de telle ou telle nuance pendant un certain temps avec une intensité déterminée, et est sensible entre des limites particulières de réfrangibilité. Cet état d'équilibre est temporaire, car lorsque les corps reprennent la température ordinaire, ils se retrouvent de nouveau dans les mêmes conditions d'émission lumineuse.

Tous les corps sous ce rapport ne présentent pas les mêmes effets, et sont plus ou moins modifiés temporairement par la chaleur. Une des substances qui présentent les modifications les plus grandes est le sulfure de strontium obtenu par la réaction du soufre sur la strontiane au-dessus de 500 à 600 degrés, et qui est lumineux violet à la température ordinaire (voir page 232); cette substance change de nuance pour de faibles différences de température, et revient à son état primitif quand on la ramène de nouveau à la température ordinaire.

Pour observer les effets produits, on a placé quelques fragments de ce sulfure dans un tube fermé par en bas, que l'on a plongé dans un bain d'eau ou d'huile, ou dans un mélange réfrigérant; puis l'on a comparé le tube chauffé à un tube semblable non chauffé, en les exposant pendant un temps très-court à la lumière et en les rentrant dans l'obscurité; on a eu, la température indiquée étant celle du sulfure à l'instant de l'insolation :

TEMPÉRATURE.	COULEUR DE LA LUMIÈRE ÉMISE.
— 20°	Violette-foncée; phosphorescence vive.
+ 20	Violetté, plus bleue.
40	Bleue claire.
70	Teinte légèrement verdâtre; à peine trace de bleu.
90	Jaune-verdâtre.
100	Jaune légèrement verdâtre.
200 environ.	Orangée. La lumière émise est d'une intensité très-faible.

Avec cette substance, à mesure que l'on opère à une température plus élevée, la lumière émise après l'insolation est donc de moins en moins réfrangible, et vers 200 degrés elle est analogue à celle qu'émet le sulfure de strontium préparé avec la strontiane et le soufre chauffés au-dessous de 500 degrés. On peut donc dire que le sulfure pris à diverses températures reproduit presque toutes les nuances prismatiques et par

conséquent tous les effets que l'on obtient d'une manière permanente, à la température ordinaire, avec les préparations diverses que j'ai fait connaître précédemment dans le chapitre 1^{er}. C'est une nouvelle preuve à l'appui de l'opinion que j'ai énoncée, et d'après laquelle les effets divers de phosphorescence des sulfures d'une même base préparés différemment tiennent aux modifications dans l'état physique d'un même sulfure et non pas à la composition chimique différente de ces corps.

Dans le but de suivre aisément les effets dus à l'action de la chaleur sur les corps dans lesquels la persistance des impressions lumineuses est de courte durée, j'ai placé une hélice en fil de platine au milieu d'un phosphroscope ; les bouts de cette hélice étaient convenablement isolés de la boîte de l'appareil, de sorte qu'à l'aide d'un courant électrique dont on faisait varier l'intensité suivant le nombre des couples employés, on élevait plus ou moins la température du fil pendant tout le temps du passage du courant. En plaçant les corps à étudier au milieu de l'hélice, et en les éclairant fortement au moyen de la lentille mise en avant du phosphroscope, on a pu alors suivre l'émission lumineuse à des températures qui étaient comprises depuis la température ambiante jusqu'au rouge. A partir de ce terme, les corps devenant lumineux par eux-mêmes en vertu de leur élévation de température, on ne peut plus suivre les effets provenant de l'impression lumineuse incidente.

Si l'on chauffe à l'aide de l'hélice un fragment mince du sulfure de strontium précédent, et que l'on analyse la lumière émise par réfraction en examinant ce fragment au moyen d'un prisme et ainsi qu'on l'a indiqué page 335, on peut suivre ces changements, et reconnaître qu'ils ne proviennent pas uniquement d'une extinction graduelle de certains rayons réfrangibles, laissant seulement subsister des rayons dont la teinte était masquée par celle des premiers ; on trouve alors que de nouveaux rayons sont émis à une température déterminée, lesquels ne subsistent plus à la température ordinaire. Quand l'hélice de platine n'est pas échauffée, et que le sulfure est à la température ambiante, l'image prismatique se compose d'une partie bleue et violette, comprise depuis la raie du spectre solaire F jusqu'en H, et d'une partie orangée jaune et verte, la portion F n'ayant pas une intensité très-forte. Vers 30 ou 40° de température, les parties bleues et violettes disparaissent complètement, et il ne subsiste que l'image la moins réfrangible ; mais en élevant davantage la température, la partie orangée devient

plus vive et s'allonge du côté du rouge; arrivé entre 200 ou 300°, le corps n'émet plus de rayons perceptibles à la vue.

Il est facile de montrer d'une autre manière, que cette extension du spectre du côté du rouge ainsi que l'augmentation d'intensité lumineuse n'est pas apparente et ne tient pas à ce que, les parties bleues et vertes venant à disparaître, les portions moins lumineuses semblent plus vives; il suffit de prendre un verre rouge coloré par le protoxyde de cuivre et de regarder le sulfure au travers de cet écran; quand le sulfure est à la température ordinaire, à peine si on l'aperçoit, c'est-à-dire à peine s'il donne des rayons qui se transmettent au travers de cet écran: mais aussitôt que la température s'élève, l'image rouge gagne en intensité, ce qui prouve bien que l'extension du spectre tient à une plus grande émission des rayons de faible réfrangibilité.

Les autres sulfures alcalino-terreux présentent des effets du même genre, mais à des degrés moins marqués. Les expériences suivantes indiquent la couleur de la lumière émise par plusieurs d'entre eux, la température étant fixe au moment de l'insolation.

On a d'abord opéré avec les préparations de sulfure de calcium indiquées ci-après:

1° Le sulfure de calcium rouge-orangé, provenant des coquilles d'huitre simplement calcinées.

2° Le sulfure jaune préparé avec le spath d'Islande et le soufre.

3° Le sulfure lumineux vert très-vif.

4° Le sulfure lumineux vert-bleuâtre (1).

5° Le sulfure bleu-indigo préparé avec le persulfure de potassium et les coquilles d'huitre.

6° Le sulfure violet.

On a eu aux températures suivantes:

(1) Le sulfure de chaux qui change avec la température et devient bleu-indigo peut être obtenu de différentes manières: 1° en calcinant avec le soufre le carbonate de chaux préparé au moyen du nitrate de chaux dissous et du carbonate d'ammoniaque, mais le nitrate de chaux étant donné par la réaction de l'acide nitrique sur la chaux provenant de la craie; 2° par l'action du persulfure de potassium sur certaines parties des coquilles d'huitre calcinées.

	A — 20°.	Entre 16 et 20°.	A 100°.	E. 100 et 200°.
N° 1. Sulfure orangé..	{ Rouge-feu, couleur plus vive qu'à + 20. }	Rouge-orangé.....	{ Rouge - orangé, lumière faible. }	{ Eff. très-faible.
N° 2. Id. jaune...	Jaune.....	Jaune.....	{ L'intensité lumineuse diminue, la teinte ne varie pas. }	
N° 3. Id. vert ...	Verte.....	Verte.....	{ Verte, lum. plus vive qu'à + 20°. }	{ Jaune-verdâtre.
N° 4. Id. vert-bleuâtre. }	Verte, lég ^t . bleuâtre. }	{ Verte, lég ^t . bleuâtre lumière faible. }	{ Verte, lég ^t . bleu- âtre. }	{ Bleue indigo.
N° 5. Id. bleu....	La teinte est à peu près la même aux différentes températures; l'intensité seule est différente.			
N° 6. Id. violet...		Id.		

Les sulfures de strontium qui ont servi aux expériences sont :

- 1° Le sulfure lumineux jaune obtenu avec la strontiane et le soufre au-dessous de 500°.
- 2° Le sulfure vert préparé par le carbonate et le soufre.
- 3° Le sulfure bleu clair : id.
- 4° Le sulfure violet préparé par la strontiane et le soufre au-dessus de 500°. On a eu :

	A — 20°.	Entre 16 et 20°.	A 100°.	Entre 100 et 200°.
N° 1. Sulfure jaune...	(La teinte jaune est à peu près la même jusqu'à 100°)...			Verdâtre.
N° 2. Sulfure vert....	Verte (belle lumière)..	Verte.....	Verte.....	Bleuâtre.
N° 3. Id. bleu clair.	(La teinte varie peu jusqu'à 100°.....)			Verdâtre.
N° 4. Id. violet....	Les résultats sont compris dans le tableau de la page 386.			

Les sulfures de barium qui ont été employés sont :

- 1° Le sulfure lumineux jaune-orangé.
 - 2° Le sulfure vert préparé par le carbonate de baryte et le soufre.
- Le 1^{er} sulfure a conservé à peu près la même teinte aux différentes températures depuis — 20° jusque près de 200°.

Le second à — 20° a donné une lumière verte très-vive ; à + 20° cette lumière est restée verte, et il a conservé encore cette couleur à + 100°, mais entre 100 et 200° la teinte est devenue jaune-verdâtre.

On voit que deux des sulfures de calcium sont fortement influencés par la chaleur : le rouge-orangé et le vert dont on indique la préparation. Le premier est beaucoup plus brillant à — 20° et ensuite, quand on élève sa température, sa teinte ne change pas, mais l'intensité lumineuse diminue; le second tourne au bleuâtre vers 100°, mais entre 200 et 300 il devient franchement bleu-indigo, et offre la même teinte que le sulfure bleu-indigo n° 5 indiqué page 231. Ce résultat est à signaler, car on obtient ici à volonté, mais temporairement, le même effet que l'on produit accidentellement, d'une manière permanente,

par la réaction du persulfure de potassium à haute température sur la chaux. Du reste, on va voir que l'analyse de l'action du spectre conduit à admettre que dans les deux cas on a le même phosphore.

Le sulfure de calcium vert, dont la nuance est si belle et si vive, ne change pas de la même manière et donne seulement du jaune-verdâtre à une haute température. Quant au sulfure bleu-indigo, au sulfure violet, ainsi qu'au sulfure jaune-orangé, la teinte de la lumière qu'ils émettent varie peu, et l'on n'obtient que des changements dans l'intensité et dans la durée de la phosphorescence.

Les sulfures de strontium autres que le violet, et ceux de barium, n'offrent que peu de différences; le sulfure vert de strontium à une haute température tourne au bleuâtre, celui de barium devient au contraire jaunâtre. Ainsi, pour quelques-unes des matières phosphorescentes, les rayons émis lorsque leur masse est maintenue à une température élevée sont plus réfrangibles qu'à la température ambiante, et pour d'autres ils le sont moins; il n'y a aucune règle générale à cet égard.

L'intensité et la durée de la phosphorescence changent également comme la réfrangibilité quand les corps sont maintenus à diverses températures, mais d'une manière inégale pour chaque substance. Avec le sulfure de calcium lumineux rouge, l'intensité et la durée sont plus grandes à -20° qu'aux autres températures; pour le phosphore lumineux vert très-brillant, cette intensité est plus grande à 100° qu'à $+20$, mais la lumière émise dure moins longtemps qu'à cette température; vers 200° l'intensité lumineuse en général est moindre pour tous les phosphores qu'à la température ordinaire, mais avec le sulfure de calcium lumineux verdâtre faible, l'intensité de la lumière bleu indigo est assez forte.

En général, à basse température, les substances reçoivent presque toutes une somme d'action plus grande de la part de la lumière, et ensuite elles luisent pendant plus longtemps; la durée de l'émission est donc moindre à mesure que la température est plus élevée. Pour le montrer il suffit de placer des sulfures phosphorescents dans une capsule et de les soumettre à un abaissement de température; après leur insolation ils luisent vivement, et une fois leur lumière affaiblie, en les amenant à la température ordinaire la lumière s'avive absolument comme si on les chauffait. D'un autre côté, les différents rayons dont se compose la lumière émise par les corps n'offrent pas la même durée, puisque nous avons dit plus haut que les nuances violettes et

bleues paraissent s'éteindre les premières : tel est l'effet que produit le sulfure de strontium violet, qui est plus violet dans le phosphroscope qu'il ne l'est quand on le regarde à l'obscurité quelques instants après l'insolation.

Il était intéressant d'examiner quel est le mode d'action du spectre sur ces substances et surtout sur le sulfure de calcium qui devient bleu-indigo de 200 à 300°, car ce phosphore à longue persistance est le seul jusqu'ici que j'aie trouvé pour ainsi dire à l'unisson des rayons actifs, puisque la partie où il est impressionné dans le spectre a la même couleur que celle des rayons qui sont émis par phosphorescence. J'ai placé cette matière dans un tube à parois minces de façon à l'emplir, et j'ai projeté un spectre sur le tube, de sorte que la longueur du spectre fût parallèle à la direction du tube. J'ai noté la position des parties actives et j'ai reconnu qu'il y avait deux espaces lumineux, de même que dans les n° 3 et 4, de la figure 32, relatives au sulfure de calcium, le premier ou le moins réfrangible étant moins étendu et moins lumineux que le second, et tous deux donnant une teinte verdâtre faible. En élevant alors la température du tube à l'aide d'une lampe à alcool, vers 200° l'effet du spectre a changé, et le premier espace lumineux ou le moins réfrangible est devenu plus étendu et a pris une belle teinte bleue-indigo vive après l'action de la partie active de l'image prismatique; en élevant davantage la température, le résultat a encore été le même : l'image de la partie active du spectre a été semblable à celle du n° 5 de la fig. 32, et la matière a donné deux nuances différentes par l'action de deux parties d'inégale réfrangibilité. Il résulte de là que l'action du spectre, comme la simple comparaison des rayons lumineux émis après l'action de la lumière diffuse, montre que le sulfure de calcium, qui donne lieu à cet effet lorsqu'il est chauffé, se comporte temporairement à la température ordinaire comme le composé obtenu, dans certaines conditions, par la réaction du persulfure de potassium sur la chaux.

On peut juger approximativement et de prime abord quand une substance phosphorescente change de teinte avec la température; il suffit d'insoler un fragment de cette substance et de le projeter sur une pelle en fer chauffée à 300 ou 400°, ou bien dans un canon de pistolet dont la culasse est maintenue à cette température; ce fragment devient très-lumineux pour cesser promptement de l'être, la chaleur activant beaucoup l'émission lumineuse; mais si lors de cette émission sa nuance

change, on peut être assuré que ce changement est dû aux variations calorifiques qui font passer le corps par une succession d'états différents sous le rapport de la phosphorescence. En effet, avec des fragments des sulfures cités plus haut, on retrouve successivement les teintes diverses dont nous avons parlé, c'est-à-dire des changements de couleur et d'intensité pour quelques-uns, et des changements seuls d'intensité pour d'autres. Il est même possible que le fluorure de calcium, qui offre des variations de teinte quand on le chauffe, puisse présenter des effets analogues en l'exposant à l'action de la lumière à des températures différentes; mais les actions lumineuses que présente ce corps sont trop faibles pour vérifier s'il en est ainsi. On voit donc, d'après ce qui précède, qu'à une température déterminée une matière phosphorescente prend un état d'équilibre temporaire qui en fait pour ainsi dire un phosphore spécial.

La plupart des substances minérales éprouvent des modifications analogues de la part de la chaleur, tant dans la réfrangibilité que dans l'intensité des rayons émis; mais ces changements sont plus ou moins grands et dépendent de la nature des corps. Quelques-uns, comme le spath d'Islande, donnent peu de changements depuis la température ordinaire jusqu'au rouge: si l'on choisit un fragment de spath d'Islande de la variété prismatique que l'on place au milieu de la spirale en platine, fragment qui donne une belle teinte orangée dans le phosphoroscope, on trouve que cette teinte devient un peu plus verdâtre à mesure que la température s'élève, et au rouge naissant à peine si l'intensité semble diminuée; en revenant à la température ordinaire, la nuance redevient orangée.

Ce corps présente au reste une particularité assez curieuse; on sait (1) que certains échantillons de chaux carbonatée, tels que les cristaux inverses, de même que l'arragonite, paraissent assez vivement lumineux vert dans le phosphoroscope, et que cette lumière verte offre pour ainsi dire un second effet lumineux du carbonate de chaux, différent de celui que présente le spath rhomboédrique; à une température qui n'est pas élevée et ne dépasse pas beaucoup 100°, toute émission de rayons verts cesse, et le corps devient inactif. Ainsi par l'action de la chaleur l'émission de rayons rouges orangés de courte durée persiste, et celle des rayons verts de longue durée est rapidement détruite d'une manière temporaire.

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. 57, p. 38 et suivantes.

La chaux qui provient du spath d'Islande fortement calciné, et qui est assez lumineuse, comme on le verra plus loin, présente des effets analogues à ceux du carbonate de chaux orangé; elle devient verdâtre près de la température rouge sombre, sans diminuer sensiblement d'activité. La combinaison de cette substance avec l'acide carbonique ne paraît donc pas modifier les effets de persistance que la lumière exerce sur elle.

Le spath-fluor (fluorine verte très-lumineuse) préalablement calciné ne perd pas sensiblement d'activité lorsqu'on élève sa température jusque près du rouge sombre; sa nuance seule est un peu différente, car la teinte bleue foncée qui se manifeste à l'aide du mouvement lent du phosphroscope devient seule plus faible; les teintes jaunes et vertes conservent à peu près la même intensité.

Les cristaux de spath-fluor du Dersbyshire, dont la teinte est verte ou violette, offrent quand on les regarde sous certaines incidences une teinte bleue très-belle, qui est due, comme on l'a vu antérieurement, page 316, à une phosphorescence de courte durée; aussi cette lumière bleue apparaît-elle avec beaucoup de pureté et d'intensité dans la partie ultra-violette du spectre solaire. Lorsqu'on élève la température de ces cristaux jusque près du rouge sombre, M. Jannetaz a observé que ce phénomène cesse de se produire et qu'ils n'émettent plus de lumière bleue; en les laissant revenir à la température ordinaire ils reprennent de nouveau leur propriété comme précédemment. Il est nécessaire, quand on fait cette expérience, de ne maintenir l'élévation de température que pendant peu d'instant, car si l'action calorifique persistait pendant quelque temps, ainsi qu'on l'a déjà dit dans le livre IV, toute couleur serait détruite dans le spath-fluor, aussi bien la couleur bleue que la teinte propre verte ou violette de la matière.

Ainsi l'action temporaire de la chaleur fait cesser dans les cristaux de spath-fluor dont il s'agit l'émission de la lumière bleue due à une persistance de courte durée des impressions lumineuses; mais ces cristaux placés dans le phosphroscope conservent, comme les cristaux de fluorine verte dont il vient d'être question, la propriété de donner des rayons de moindre réfrangibilité malgré l'élévation de leur température.

On voit donc qu'avec les différentes substances citées dans ce paragraphe l'action temporaire de la chaleur s'exerce principalement sur l'émission des rayons très-réfrangibles; mais néanmoins il y a des corps dans lesquels cette action se fait sentir également sur les rayons de

moindre réfrangibilité, et qui peuvent devenir tout à fait inactifs vers 300 ou 400°; je citerai notamment l'alumine, qui précipitée et calcinée ou bien à l'état de coryndon donne une lumière de moins en moins vive, mais toujours de même teinte, à mesure que la température s'élève; le verre ordinaire, le verre d'urane, etc., sont dans le même cas.

§ 2. *Influence de la température; modification permanente.*

La chaleur ne donne pas seulement lieu dans les corps à une action temporaire, mais elle peut encore produire des modifications permanentes; en général son action augmente l'activité des corps quand ils sont soumis ensuite à l'influence du rayonnement lumineux. On a vu dans le livre II, page 30, quelles ont été les expériences faites par Michel de Grosser sur le diamant, ainsi que les recherches de Dufay sur le même sujet. Les effets que l'on observe avec l'alumine et la chaux, et que je vais indiquer, peuvent montrer quelle est la limite de cette influence.

Lorsque l'alumine est précipitée à l'état de gelée et est hydratée, elle ne donne pas sensiblement lieu à une émission de lumière, ou du moins on observe seulement une faible lueur verdâtre dans le phosphroscope. Si on la calcine à une température élevée dans un fourneau à vent, elle acquiert le pouvoir d'émettre de la lumière rouge dont la composition a été donnée précédemment; mais dans cet état son action est assez faible.

Si l'on choisit au contraire de l'alumine très-pure provenant de l'alun ammoniacal, et que l'on divise cette alumine en plusieurs parties, on peut, en la combinant avec des acides purs, faire du sulfate, de l'azotate, de l'acétate, de l'oxalate et d'autres sels à base d'alumine. En calcinant alors séparément dans un même fourneau à vent ces différents sels, ils donnent tous de l'alumine, mais qui est inégalement active. Celle qui provient du sulfate est toujours moins lumineuse que celle qui provient de l'acétate ou du nitrate, dont l'éclat approche de celui que donnent les rubis les plus brillants. Cependant, ces divers échantillons sont également purs, et on ne peut y supposer que des états moléculaires différents; il est remarquable de voir que la différence due à ce que divers composés d'alumine servent à la préparation de cette matière persiste même après l'action d'une température très-élevée et prolongée pendant longtemps.

On trouve également parmi les coryndons naturels des différences

très-grandes; ils sont pour ainsi dire tous lumineux, mais les rubis le sont plus vivement que les saphirs ou que les coryndons légèrement verdâtres qui contiennent du fer. Cependant, lorsque les coryndons limpides et incolores sont à peine lumineux, il suffit de les porter à une température très-élevée pour augmenter leur activité lumineuse.

Voici, du reste, la mesure des intensités lumineuses données par les différentes préparations d'alumine en plaques minces de 0^{mm},4 environ et par les cristaux de coryndon qui ont servi aux expériences indiquées dans le chapitre III, page 280.

Coryndon (rubis) limpide taillé	100,00
Coryndon translucide (autre rubis)	61,65
Alumine provenant de la calcination du nitrate (les points les plus brillants seulement)	23,50
Alumine provenant de la calcination de l'acétate	5,48
Lame de coryndon limpide et blanche (préparée artificiellement)	1,85
Coryndon blanc naturel (parfaitement limpide)	0,16

On ne peut pas dire que l'émission de lumière de l'alumine ou des coryndons soit due à une matière étrangère mélangée à ces corps, car il faut remarquer que si l'intensité de la lumière émise est variable, la composition de cette lumière reste la même, comme je l'ai démontré antérieurement; on obtient ce résultat avec des rubis, des coryndons limpides, de l'alumine précipitée et calcinée, ou de l'alumine cristallisée artificiellement. D'un autre côté, comme on l'a déjà vu, p. 280, le rapport du pouvoir émissif de cette matière à sa capacité pour la lumière est sensiblement le même pour l'alumine préparée chimiquement aussi pure que possible et pour les coryndons naturels, et il n'est pas possible de supposer que la substance étrangère qui serait mélangée à l'alumine serait toujours la même, quelle que fût la provenance des coryndons naturels ou quel que soit le mode de préparation que l'on puisse employer.

La seule conséquence que l'on puisse tirer de ces expériences, c'est que dans le phénomène de phosphorescence, qui est un phénomène intimement lié à la nature des corps, la composition et la loi d'émission de la lumière restent les mêmes pour le même corps, quel que soit son mode de préparation, à égalité de température, mais que l'intensité de la lumière émise est essentiellement variable et dépend d'un arran-

gement moléculaire qui peut être différent suivant des circonstances que l'on ne peut toujours apprécier. En ce qui concerne l'alumine, il est curieux de remarquer que la présence de l'acide chromique, qui colore ce corps en violet ou en rouge, augmente l'intensité de la lumière émise; cependant, ainsi que je l'ai reconnu, l'alumine pure provenant de la calcination de l'acétate donne une matière qui approche beaucoup des rubis les plus brillants. En tout cas, comme je l'ai déjà dit, la composition de la lumière émise ne varie pas dans l'un ou l'autre cas.

La chaux donne lieu à des effets du même genre que ceux présentés par l'alumine. J'ai déjà insisté sur les effets différents présentés par les différents modes de préparation du carbonate de chaux; d'un autre côté l'arragonite, comme les cristaux de chaux carbonatée inverse, donnent une émission de lumière verte persistante au lieu de présenter une teinte orangée. Si l'on calcine ces différents carbonates de chaux dans des creusets placés dans un fourneau à vent et que l'action de la chaleur soit suffisamment prolongée, ils sont complètement transformés en chaux. Pour pouvoir observer leur action dans le phosphoroscope, il faut en prendre des fragments très-minces, ou bien placer sur une lame de mica de très-petits grains que l'on y fait adhérer avec une très-légère couche d'un corps gras. Ces échantillons sont tous lumineux orangé, mais avec des intensités bien inégales; celle qui provient de l'arragonite ne donne qu'une faible émission de lumière; celle qui provient des cristaux spathiques est au contraire très-lumineuse. D'un autre côté, la chaux ordinaire provenant de la calcination du calcaire compacte dans des fours à chaux n'est pas impressionnable d'une manière sensible; chauffée fortement dans un fourneau à vent, elle présente une faible émission de lumière orangée; la chaux provenant de la calcination du nitrate s'est comportée de même. En somme, l'action de la chaleur sur le carbonate de chaux et sur la chaux augmente l'activité de ces substances; mais si la couleur de la lumière émise par les différentes préparations d'un même composé ne change pas, l'intensité lumineuse varie suivant la nature et la constitution des sels de chaux qui ont servi à faire ces préparations.

D'autres substances, comme la magnésie, présentent des effets analogues. Le spath-fluor peut également se comporter de même, car des échantillons de cette matière sont devenus plus lumineux dans le phosphoroscope après une calcination préalable.

§ 3. *Influence de l'état du corps ; état solide et état liquide. Forme cristalline.*

Si l'on place le phosphoroscope dans une chambre parfaitement noire, que l'on éclaire très-vivement les corps avec les rayons solaires concentrés à l'aide d'une lentille, il y a bien peu de substances solides transparentes, surtout à base alcaline et terreuse, qui ne présentent quelque trace de lumière; mais quand un corps ne donne lieu à aucune action appréciable, quelquefois en modifiant son état physique ou en le préparant dans des circonstances déterminées on peut trouver qu'il devient impressionnable. Ainsi l'on a vu antérieurement que le quartz limpide et incolore est inactif : mais le quartz opale peut présenter une émission lumineuse assez marquée, surtout la variété opale résinite dont les couleurs changeantes ne paraissent pas dues à un effet de réseaux; il serait même possible que l'opalescence manifestée par ce corps dans cette circonstance ne provint que d'une émission de rayons lumineux en vertu d'une action propre.

Les corps quand ils sont à l'état solide se trouvent, comme on l'a déjà vu, dans les conditions les plus favorables pour que les effets de persistance d'impression lumineuse puissent se manifester; quelques liquides organiques peuvent présenter des effets de phosphorescence de ce genre, puisque la dissolution de bisulfate de quinine est très-lumineuse dans la partie ultra-violette du spectre, ainsi que des dissolutions de chlorophylle, d'esculine et d'un grand nombre de matières organiques; mais la durée de la persistance des impressions lumineuses est beaucoup plus courte qu'avec les corps solides, puisque le phosphoroscope que j'ai fait construire n'a pas encore accusé d'effets de lumière, et qu'il faut l'action continue des rayons violets pour les manifester. Il résulte de là que, sauf dans des circonstances déterminées, l'état liquide semble contraire à l'état physique qui convient à la manifestation du phénomène. On en a la preuve en faisant fondre par une faible élévation de température des corps tels que le nitrate d'urane, l'hydrate de potasse, etc., qui sont très-vivement lumineux, car aussitôt ils cessent d'être visibles dans le phosphoroscope; quand ils sont revenus à l'état solide, l'action lumineuse apparaît de nouveau.

Les gaz semblent se trouver, comme les liquides, dans des conditions autres que celles nécessaires pour la conservation d'un état vibratoire

capable de donner une émission de lumière si ce n'est dans des circonstances qui ont été indiquées page 192, lors de la transmission des décharges électriques dans les gaz raréfiés.

Les corps qui sont impressionnables et que l'on peut préparer à basse température par voie de cristallisation, sans que l'eau de cristallisation influe sur les effets lumineux, ne donnent pas plus de variations dans l'intensité que dans la composition de la lumière émise, et se présentent toujours identiques à eux-mêmes; cela est facile à concevoir. Tel est le cas des sels d'urane, des platino-cyanures cristallisés, du bisulfate de quinine, etc... Mais les corps dont les formes cristallines sont modifiées lors de la cristallisation, par suite de circonstances qui échappent souvent aux observations, présentent par cela même des variations dans l'action qu'ils exercent sur la lumière.

Les cristaux naturels de carbonate de chaux sous ce rapport offrent de grandes différences; l'on a vu précédemment, page 355 et suivantes, que suivant leur forme dominante il pouvaient donner lieu à une émission de rayons de diverse réfrangibilité, et cela avec des durées inégales. On peut ajouter ici quelques détails à ceux qui ont été donnés plus haut; ils résultent des observations que j'ai pu faire avec des échantillons appartenant à la collection du Muséum d'histoire naturelle.

La plupart des cristaux de carbonate de chaux qui dérivent des formes prismatiques, ceux qui proviennent des modifications connues sous le nom de métastatiques, ou bien des modifications du rhomboèdre primitif conduisant à l'équiaxe, donnent tous la teinte orangée, les formes prismatiques donnant l'intensité la plus grande. Les rhomboèdres inverses ou ceux en rhomboèdres aigus, appelés rhomboèdres mixtes par Haiiy, donnent la teinte verte persistante, analogue à celle que présente toujours l'arragonite. Quelques cristaux, surtout de ceux qui offrent la forme analogique prismée, ont donné la teinte orangée dans tout le corps du cristal, avec l'extrémité bleue-verdâtre; j'ai même observé, avec un certain nombre de cristaux provenant d'un même échantillon, que ce pointement donnait dans le cristal trois lignes d'une teinte verte plus vive, convergeant vers la pointe, et semblant indiquer à l'intérieur une disposition moléculaire particulière, qui n'était pas appréciable par un autre moyen.

On ne peut dire que les deux états particuliers du carbonate de chaux que l'on distingue à l'aide de la couleur de la lumière émise par action propre tiennent à la forme cristalline de ce corps; mais les causes

qui dans une région déterminée ont amené la cristallisation à se faire de telle ou telle manière ont donné lieu aux dispositions moléculaires d'où résultent les effets lumineux signalés plus haut.

§ 4. *Influence de la direction des rayons incidents. Extinction des rayons actifs.*

Dans les expériences dont les résultats ont été rapportés précédemment, j'ai supposé que les rayons solaires incidents tombaient perpendiculairement sur la surface des corps transparents taillés, ou bien de ceux opaques qui étaient en poussière et placés sur du mica. S'il est nécessaire que la lumière pénètre à une certaine profondeur pour exciter les molécules, il est évident que sur une surface polie un même faisceau lumineux donnera un effet plus ou moins marqué, suivant qu'il sera incliné de telle ou telle manière, et que par suite de la polarisation du rayon incident il s'en réfléchira des quantités différentes.

Pour vérifier cette supposition, on a fixé dans le phosphoroscope une lame de verre d'urane bien plane, dont on pouvait faire varier la position par rapport à celle du faisceau incident; puis on a polarisé la lumière incidente en faisant passer le faisceau de rayons solaires au travers d'un prisme de Nicol. En inclinant alors plus ou moins la petite lame de verre, j'ai constaté que lorsque le plan de réflexion sur le verre était parallèle au plan de polarisation, et que l'incidence se trouvait de 35° environ avec la surface, auquel cas une grande partie de la lumière incidente était réfléchie, alors on avait le minimum d'effet lumineux transmis par phosphorescence, effet de lumière dû à l'action propre du verre et que l'on mesurait avec le photomètre; en mettant le plan de réflexion perpendiculaire au plan d'incidence, ce qui fait que la lumière ne se réfléchit plus que très-faiblement et est éteinte en partie, on a le maximum d'effet dans le phosphoroscope, ce qui prouve dans ce cas que le maximum d'action est communiqué par la lumière incidente à la substance active.

Ainsi il ne suffit pas que la lumière tombe sur la surface d'un corps, et il est nécessaire qu'elle pénètre à une certaine profondeur dans ce corps pour que les molécules qui sont situées près de sa surface puissent être impressionnées. Quand elle pénètre alors dans les corps impressionnables, la portion active qui lui communique une influence est éteinte en proportion de l'effet qui est produit, et si le corps impression-

nable est transparent, au-delà d'une certaine profondeur, dépendant de la nature du corps, il ne se transmet plus que les rayons qui n'exercent plus d'action sur lui. Tel est l'effet qui a lieu quand la lumière tombe sur un écran liquide contenant du bisulfate de quinine ; au-delà d'une certaine limite, les rayons transmis quand ils tombent sur un second écran semblable ne donnent plus l'émission de lumière bleue que produisent les rayons ultra-violetts ; si l'on observe encore une action, une épaisseur plus grande encore la détruirait, et il ne resterait plus dans le faisceau que des rayons lumineux dont l'extinction n'aurait pu avoir lieu.

Mais si l'on faisait agir le faisceau ainsi tamisé sur une autre matière impressionnable, et que cette dernière soit sensible entre les mêmes limites de réfrangibilité, elle ne présenterait aucune action ; si au contraire elle était sensible entre d'autres limites de réfrangibilité, elle pourrait devenir active, car les rayons qui l'exciteraient n'auraient pas été éteints.

Il en est de même si l'on agit par réflexion irrégulière ou par diffusion et que l'on étudie les rayons qui ont échappé à l'absorption, au moyen des phénomènes de phosphorescence, ou à l'aide des actions chimiques dont il sera question dans la seconde partie de l'ouvrage, lesquelles ont lieu en général dans les parties les plus réfrangibles du spectre lumineux. Ainsi, lorsque l'on réfracte un faisceau de rayons solaires au travers d'un prisme, et que l'on projette le spectre sur une surface, celle-ci est éclairée dans toute l'étendue de l'image prismatique ; mais si cette surface est enduite d'une substance comme le bisulfate de quinine ou un platino-cyanure, ou encore un sulfure phosphorescent, aussitôt on voit la partie violette et ultra-violette devenir brillante et émettre des rayons de nuances différentes, en raison d'une transmission de mouvement vibratoire à ces matières impressionnables. Cet effet doit donc être suivi d'une diminution dans la quantité de rayons dont la réfrangibilité correspond à l'extrême violet et qui peuvent être émis par diffusion en tous sens, rayons qui sont doués d'une activité chimique puissante sur un grand nombre de matières.

Il résulte de là que si dans une chambre noire disposée pour les images photographiques, on reçoit au foyer l'image du spectre éclairant ainsi différents corps impressionnables, on pourra juger, d'après les épreuves photographiques obtenues, si la partie ultra-violette est plus ou moins active après ou avant son action sur les matières phosphorescentes. En

opérant de cette manière et en recevant les images photographiques sur des plaques daguerriennes, on reconnaît que lorsque le spectre solaire frappe une surface enduite d'une matière phosphorescente très-active, la portion du spectre où la phosphorescence a lieu ne donne sur l'épreuve photographique qu'une impression plus faible que sur la même surface qui n'est pas recouverte de matière, preuve du changement de réfrangibilité et de la diminution dans la quantité de rayons qui affectent les matières impressionnables.

§ 5. *Rayonnement des corps phosphorescents. Effets chimiques, phosphorogéniques et calorifiques produits par son action.*

Lorsque les corps sont placés dans le phosphroscope et qu'ils émettent des rayons à des intervalles assez courts pour qu'ils semblent agir d'une manière continue, ces rayons, comme ceux qui émanent des sources naturelles et artificielles, exercent d'autres actions que celle qui consiste à impressionner la rétine. Ils excitent de nouvelles vibrations dans les corps, c'est-à-dire qu'ils donnent lieu à des phénomènes de phosphorescence; ils produisent des réactions chimiques sur les matières impressionnables; enfin, ils devraient donner lieu à des effets calorifiques s'ils avaient une intensité suffisante et une réfrangibilité convenable.

La rétine étant excessivement impressionnable peut percevoir des rayons d'une très-faible intensité : aussi les effets optiques et les lois qui règlent la marche des rayons lumineux ont-ils servi de guide dans l'étude des autres effets produits sous l'influence de la lumière.

Les phénomènes de phosphorescence viennent ensuite dans l'ordre d'impressionnabilité, comme étant ceux qu'il est le plus facile de manifester sous l'action d'un rayonnement d'une faible intensité. Il est facile en effet de démontrer que l'action des corps placés dans le phosphroscope peut exciter de nouveau la phosphorescence sur les matières très-lumineuses : à cet effet, au moment où le phosphroscope est en rotation, l'on approche de l'ouverture de cet appareil, dans la chambre noire, les matières phosphorescentes, comme les sulfures de calcium ou de strontium; en employant comme substances actives placées intérieurement le nitrate d'urane, la potasse caustique, le bisilicate de potasse, le sulfure de calcium bleu ou le sulfure de strontium bleu-violet, il suffit de maintenir les matières phosphorescentes

à longue durée pendant un temps assez court dans le voisinage de ces dernières pour reconnaître qu'elles émettent ensuite de la lumière dans l'obscurité; cette lumière est faible, il est vrai, mais néanmoins elle prouve que le rayonnement dû aux substances placées dans le phosphoscope, et agissant comme sources lumineuses, peut exciter de nouveau la phosphorescence. Dans ces expériences, les substances qui émettent des rayons bleus et violets sont plus actives que les autres, en raison de la grande réfrangibilité des rayons émis.

Les effets chimiques produits par la lumière sur les corps les plus impressionnables demandent en général une certaine intensité lumineuse, et un temps suffisant pour que la réaction soit manifeste. Le mode d'opération qui m'a réussi le mieux consiste à préparer des plaques de verre sur lesquelles on fixe du collodion préparé avec de l'iodure de potassium et du nitrate d'argent, de façon à avoir une sensibilité très-grande, et à placer les plaques d'une manière fixe très-près de l'ouverture du phosphoscope dans la chambre noire; quand on fait tourner la roue de cet appareil, la lumière émise par le corps situé à l'intérieur peut agir immédiatement sur la couche impressionnable, et en plongeant celle-ci dans une dissolution de protosulfate de fer, on voit apparaître l'image de l'ouverture si l'intensité chimique des rayons émis a été suffisante. En employant successivement comme substance active le sulfure bleu de strontium, le sulfure bleu de calcium, l'azotate d'urane, après une demi-heure d'action avec la première substance, l'effet chimique sur le collodion est assez intense; il est un peu moindre avec le sulfure bleu de calcium; avec le nitrate d'urane, après trois quarts d'heure d'action, l'effet est faible, quoique appréciable. Dans ce cas, l'action chimique suit la réfrangibilité des rayons émis; avec le sulfure de strontium lumineux violet, la lumière émise étant plus réfrangible contient en abondance les rayons qui influencent l'iodure d'argent; la deuxième matière est moins violette, et la troisième, qui renferme peu de rayons bleus, agit moins efficacement. L'on obtient donc des effets chimiques analogues à ceux qui sont produits sous l'influence des rayons solaires.

Il est facile de se rendre compte par quel motif on ne peut mettre en évidence aucune action chimique déterminée à l'aide des rayons émanés d'un corps rendu phosphorescent comme un sulfure alcalino-terreux par une seule exposition à la lumière solaire : cela tient à ce que les rayons émanés des corps lumineux après une simple insolation

ont une intensité beaucoup trop faible, puisqu'il faut une demi-heure d'action continue d'un corps placé dans le phosphroscope pour avoir un effet chimique bien manifeste; pendant ce temps le corps reçoit au moins six cents fois par seconde l'action solaire, ce qui fait en une demi-heure environ 1,000,000 de fois l'action produite par une simple insolation.

D'après ce que l'on a vu précédemment, la réfrangibilité de la lumière émise par phosphorescence est en général moindre que celle des rayons actifs. Or on sait que dans le rayonnement solaire l'action calorifique est plus grande lorsque la longueur d'onde est plus considérable, de sorte que la chaleur qui est bien manifeste dans la partie la moins réfrangible n'est plus appréciable dans la partie violette du spectre. Il était intéressant de vérifier si, lors de l'action des corps phosphorescents, le rayonnement résultant de l'action subséquente de la partie la plus réfrangible du spectre était capable de produire une impression calorifique, alors que cette partie du spectre n'aurait pu le faire; ou bien, en d'autres termes, la transformation du mouvement vibratoire donnant lieu aux phénomènes de phosphorescence, en augmentant la longueur d'onde des rayons actifs ne donnerait-elle pas de la chaleur, alors que le mouvement vibratoire des rayons incidents pourrait produire d'autres actions. Si cet effet devait avoir lieu, il semble qu'il serait plus sensible avec les substances qui, par phosphorescence, émettent de la lumière rouge ou orangée.

Pour examiner s'il se produisait une action de ce genre, on a disposé une pile thermo-électrique très-sensible en relation avec un multiplicateur, de façon à pouvoir étudier l'action calorifique résultant, soit du contact du corps phosphorescent, soit de son rayonnement par diffusion. Dans le premier cas, on a attaché des fragments très-phosphorescents à la pile thermo-électrique; dans le second, on les a placés à quelques centimètres de distance. En opérant avec les corps phosphorescents rouges-orangés comme avec les matières les plus lumineuses vertes et jaunes, telles que les sulfures de barium ou de strontium, de même qu'avec les matières telles que le sulfate de quinine, la solution de chlorophylle ou l'azotate d'urane, il n'a pas été possible de reconnaître de traces d'action calorifique autre que celle qui résulte de l'influence des rayons solaires actifs eux-mêmes.

Il en a encore été de même en plaçant des corps dans le phosphroscope et en les éclairant à l'aide des rayons qui avaient traversé un écran rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre ammoniacal, lequel ne laisse

passer que de la lumière bleue foncée et violette. Les faibles effets obtenus n'ont pas permis de faire la part de ce qui appartenait à l'échauffement direct du corps. Il est possible que dans l'un et l'autre cas la sensibilité des piles thermo-électriques et celle du multiplicateur ne soient pas assez grandes ; l'on doit alors attribuer les résultats négatifs à cette cause, car la sensibilité des piles thermo-électriques par rapport aux rayons calorifiques, est loin d'être aussi grande que celle de la rétine pour les rayons lumineux ainsi que celle des corps phosphorescents rendus actifs par insolation.

D'un autre côté, si lors de l'extinction d'un faisceau de rayons d'une réfrangibilité quelconque par un corps inactif, toute l'action transmise au corps était efficace pour produire de la chaleur, il pourrait se faire que lorsqu'une partie du faisceau donne lieu à un phénomène de phosphorescence sur un corps impressionnable, l'action calorifique soit diminuée dans la proportion des rayons efficaces qui concourent à cet effet ; dans ce cas on n'aurait trouvé aucune indication thermométrique dans le sens cherché ; c'est une question qui reste à éclaircir.

Transmission de l'effet de phosphorescence au delà des points impressionnés. Lorsqu'on examine dans l'obscurité une substance phosphorescente, comme un fragment de sulfure de calcium, il semble que des rayons lumineux soient émis du milieu de la masse, et que le phénomène ne réside pas seulement à la surface du corps. L'effet qui se produit est analogue à celui que l'on observe lorsque les corps sont portés à la température rouge, et qu'ils deviennent lumineux par la chaleur ; les molécules sont aussi bien en vibration à une certaine profondeur qu'à la surface, et l'on conçoit que des rayons émis par les particules jusqu'à une très-petite distance de la surface puissent être envoyés à l'observateur. Pour les corps phosphorescents il en est de même ; les différentes substances avec lesquelles on opère n'ont pas une opacité absolue, surtout sous une petite épaisseur ; il résulte de là que la lumière peut pénétrer à une petite profondeur, et rendre phosphorescentes les parties qui se trouvent frappées par elle.

Mon père et M. Biot (1) ont obtenu un effet qui me semble devoir être expliqué par une certaine translucidité des substances phosphorescentes : ils ont reconnu que si l'on excite la phosphorescence avec une étincelle électrique sur une très-petite étendue de la surface

(1) Becquerel, *Traité d'électricité*, tome VI, page 297.

d'un fragment de sulfure de calcium, le point lumineux, qui devient visible immédiatement après la décharge, augmente peu à peu de dimensions, de sorte que l'action phosphorique semble se propager autour du point frappé. Je pense que sans admettre cette propagation, il est possible que la substance n'étant pas complètement opaque, les rayons ne bornent pas leur action à la partie frappée directement par la lumière; en effet, j'ai vérifié directement, en plaçant des fragments de sulfure de calcium de $\frac{1}{2}$ à 1 millimètre d'épaisseur sur la route d'un faisceau de rayons lumineux très-mince dans l'intérieur d'une chambre obscure, que le fragment était doué d'une certaine translucidité, et que les rayons diffusés qui éclairaient imparfaitement la partie postérieure du fragment suffisaient pour rendre cette partie légèrement phosphorescente. Il est donc probable que lorsqu'une surface de petite étendue est frappée par la lumière, les parties voisines sont influencées par diffusion; et comme la lueur qu'elles émettent est moins vive que celle qui est émise immédiatement par la partie centrale, on aperçoit celle-ci la première, et peu à peu les effets devenant comparables, la tache lumineuse semble s'agrandir. Cette expérience curieuse, qui peut-être n'est due qu'à une illusion d'optique, est facile à répéter avec un faisceau de rayons solaires introduits dans une chambre noire; on les concentre alors au foyer d'une lentille, et après les avoir reçus sur la surface d'un fragment de sulfure de calcium très-phosphorescent, on constate que la partie frappée directement par la lumière, et qui est visible après l'impression lumineuse, augmente d'étendue dans l'obscurité.

Je citerai encore l'expérience suivante, qui se rapporte également à ce sujet: j'ai impressionné une substance phosphorescente fixée sur une lame de verre avec de la gomme, puis je l'ai mise en contact avec une surface semblable plus étendue, mais non impressionnée, et qui avait été placée dans l'obscurité depuis plus d'un jour; au bout d'une heure, en élevant la température de la surface non impressionnée, j'ai obtenu une faible émission de lumière en face des points qui se trouvaient au contact des parties actives; mais comme une feuille de mica très-mince interposée s'est opposée à cette action, j'ai pensé que quelques parties du sulfure phosphorescent avaient pu se détacher et rester adhérentes à l'autre surface en contact. Je n'ai pu reconnaître nettement, par ce mode d'expérimentation, si la propagation de l'action phosphorogénique avait lieu de molécule à molécule par contact, et jusqu'à quelle limite elle pourrait se produire. Ainsi, quant à présent, on ne peut dire si l'action

phosphorescente se trouve limitée très-exactement aux parties frappées par le rayonnement; car cette limite, sans être aussi étendue que mon père et M. Biot le supposaient, pourrait être de l'ordre de grandeur des espaces intermoléculaires.

Quant aux corps phosphorescents dont la persistance de l'impression lumineuse est de peu de durée, tels que le sulfate de quinine, le verre d'urane, quand ils sont bien transparents ils ne paraissent pas présenter de propagation de l'action lumineuse au delà des points frappés par la lumière, ou du moins l'extension des effets produits n'a pas été appréciable aux moyens de mesure.

Résumé et conclusion du livre V^I.

En résumé, les résultats renfermés dans ce livre montrent que lorsque la lumière vient frapper certains corps, et peut-être la plupart d'entre eux, son action ne cesse pas aussitôt que la lumière ne les éclaire plus; indépendamment des rayons réfléchis et transmis, ces corps émettent, en vertu d'une action qui leur est propre, des rayons lumineux dont la durée, l'intensité et la composition dépendent de leur nature et de leur état physique. Quelques-uns donnent une émission lumineuse de très-courte durée et inférieure à $\frac{1}{1000}$ de seconde; d'autres donnent de la lumière pendant plus de trente-six heures. Peut-être cette action appartient-elle à tous les corps, et ne se manifeste-t-elle qu'à un degré beaucoup plus faible dans ceux que l'on ne peut voir dans le phosphoscope, ce qui fait que l'on ne peut apprécier l'émission lumineuse que sur un certain nombre d'entre eux.

Les corps en vertu d'une certaine élasticité conservent donc des vibrations, et agissent ensuite comme sources lumineuses. Il est probable que ces actions interviennent dans certains effets de coloration que présentent plusieurs corps.

Il n'y a aucun rapport entre la durée de la lumière émise par les corps impressionnés, l'intensité de cette lumière et sa réfrangibilité: ainsi un corps peut émettre pendant longtemps de la lumière avec une faible intensité (diamant, chlorophane), ou bien pendant un temps très-court une lumière très-vive (spath d'islande, alumine, verre, nitrate d'urane, etc.). On a vu aussi qu'il n'y a aucune relation entre la réfrangibilité de la lumière active et celle de la lumière émise, mais que les rayons émis ont toujours une longueur d'onde supérieure ou au plus égale à celle

des rayons actifs. Ainsi des vibrations lumineuses d'une vitesse déterminée ne peuvent exciter dans les corps que des vibrations de même vitesse ou de vitesse moindre, mais non de vitesse plus grande.

Un même corps préparé de différentes manières peut présenter des effets lumineux variables d'intensité; mais quand la composition de la lumière émise est la même, la loi de l'émission ne change pas et dépend, ainsi que la composition de cette lumière, de la nature seule du corps.

Pour quelques substances, non-seulement la composition chimique, mais encore l'état physique influe tellement sur la composition de la lumière émise que l'on peut préparer à volonté, avec plusieurs d'entre elles, des masses phosphorescentes (phosphores artificiels) qui présentent une quelconque des nuances prismatiques. On pourrait encore, par une comparaison, représenter les effets obtenus en disant que ces derniers corps, par rapport aux effets lumineux sont analogues aux cordes sonores auxquelles on fait rendre différents sons suivant leur état de tension.

L'action temporaire de la chaleur tend à diminuer et même à anéantir l'intensité des effets lumineux émis par les corps en vertu de leur action propre après l'influence du rayonnement; elle modifie également la composition de la lumière émise, et ce changement peut être tel qu'avec une substance comme le sulfure de strontium lumineux bleu à la température ordinaire on peut obtenir toutes les nuances prismatiques comprises entre le violet et l'orangé, et cela entre les limites de température de -20° à 150° .

La chaleur peut agir également en modifiant les corps solides d'une manière permanente; dans ce cas, l'action préalable d'une température élevée augmente l'intensité de la lumière émise après l'insolation, mais seulement quand ce corps est revenu à la température ambiante.

L'emploi du phosphoroscope, en ce qui concerne les impressions exercées par la lumière sur certaines substances, permet d'aborder des questions analogues à celles qui règlent le refroidissement et les quantités de chaleur émises ou absorbées par les corps.

Les phénomènes de phosphorescence sous l'action de la lumière peuvent encore être invoqués dans l'étude de plusieurs questions de physique moléculaire, et servir à éclairer différents points d'analyse chimique. On peut citer, comme preuve, l'exemple remarquable des effets différents produits par la chaux provenant du spath d'Islande ou de

l'aragonite, effets qui se retrouvent dans certaines combinaisons obtenues avec ces substances ; quand ces composés ont subi un certain nombre de réactions, ils tendent vers une action uniforme où l'influence première des deux corps cristallisés ne se fait plus sentir. Ainsi la cause qui donne lieu au phénomène de phosphorescence par insolation d'une substance est probablement autre que celle d'où dépend son état cristallin, et tient peut-être à sa densité ou à une propriété physique particulière non encore spécifiée. Enfin, ces phénomènes touchent à l'une des parties les plus délicates de l'optique, c'est-à-dire à l'absorption de la lumière ainsi qu'à la nature même de l'agent lumineux.



LIVRE VII.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS DANS LES CORPS ORGANISÉS.

CHAPITRE PREMIER.

Phosphorescence des végétaux.

§ 1. *Matières végétales; bois lumineux.*

On a déjà vu dans le livre II que les phénomènes lumineux présentés par le bois ainsi que par certaines plantes avaient attiré l'attention générale depuis les temps les plus reculés, et que dans le milieu du seizième siècle Conrad Gesner (voir page 11) avait réuni tout ce que l'on savait sur ce sujet dans un ouvrage intitulé *De raris et mirandis plantis*, etc. Depuis cette époque les recherches qui ont été faites ont conduit aux résultats que nous allons résumer.

Un grand nombre de matières végétales peuvent devenir lumineuses après la cessation de la vie; on rencontre accidentellement des tiges de bois, des fragments de poutre, se trouvant dans des endroits humides et ayant perdu leur force de tissu et qui sont lumineux; des brindilles de bois et des feuilles peuvent présenter les mêmes effets, ainsi que des tubercules (1) et des fruits quand ils commencent à se décomposer (2).

D'après Dessaignes (3), tous les bois, de quelque nature qu'ils soient, peuvent devenir lumineux pourvu qu'ils soient pénétrés d'eau, maintenus à une température de 8 à 12° et en contact avec l'air atmosphé-

(1) *Journal de physique*, t. 36, p. 225, 1790.

(2) Tulasne, *Sur la phosphorescence de l'agaric de l'olivier*, *Annales des sciences naturelles*, 3^e série botanique, t. 9, p. 338.

(3) *Journal de physique*, t. 68, et t. 69, p. 26.

rique. Le bois de chêne exposé aux mêmes actions brunit, puis se décolore, avant de devenir lumineux.

Boyle avait déjà remarqué en 1668 (1) que la lueur du bois phosphorescent disparaissait à mesure que l'on faisait le vide dans le récipient de la machine pneumatique où il était placé; en faisant rentrer l'air, le bois reprenait sa faculté lumineuse. Dessaignes a vérifié ce fait et a montré de plus que le bois lumineux s'éteignait dans l'acide carbonique et dans l'hydrogène, mais qu'il brillait dans l'air et dans l'oxygène; en outre, dans ces deux dernières circonstances, il y avait émission d'acide carbonique. Il est donc probable qu'une sorte de combustion lente est cause de l'émission lumineuse de ces matières végétales.

La présence de l'eau est nécessaire pour que cette action se manifeste; quand on dessèche le bois lumineux il cesse de luire; humecté de nouveau il reprend sa faculté lumineuse.

A une température trop élevée ou trop basse, la lumière cesse de se produire; dans l'eau bouillante le bois perd sa faculté lumineuse. A 50° la phosphorescence n'est que suspendue; à 37° elle ne disparaît pas et paraît même prendre plus d'éclat. Au-dessous de 0°, dans un mélange réfrigérant, la lumière disparaît; à + 6°,5 elle se maintient; quand le bois a été rendu obscur par abaissement de température, en l'échauffant il redevient lumineux.

Ce phénomène, d'après Dessaignes, paraît tenir à un état particulier de décomposition du bois; quand il cesse de se produire, le bois a perdu sa flexibilité, sa force de tissu, sa cohésion et une partie de sa densité. Le ligneux étant intact, du moins en apparence, ce serait une altération du parenchyme qui produirait cet effet. M. Tulasne, dans le mémoire cité plus haut, a observé également que les points brillants de certaines feuilles mortes et de débris de végétaux étaient ceux qu'une altération particulière du parenchyme avait rendus blanchâtres.

On a supposé que la phosphorescence des débris végétaux pouvait être due à celle de plusieurs champignons qui s'y développent. Mais alors la difficulté pour expliquer le phénomène est la même; comment les champignons deviendraient-ils lumineux? Ce serait sans doute par une action chimique lente donnant toujours de l'acide carbonique et exigeant la présence de l'oxygène; seulement, dans ce cas, cette action s'exercerait conjointement avec la vie végétale, comme dans les végétaux dont on

(1) Boyle, *Opera omnia*, t. 3.

va parler, au lieu d'apparaître après leur mort. Mais il est plus probable que l'altération de certaines parties organiques est la cause de l'effet observé, comme cela a lieu aussi pour les animaux. On doit voir par là que l'action chimique lente de l'oxygène sur le phosphore n'est pas la seule réaction chimique accompagnée de lumière, puisque celle dont il vient d'être question ne s'exerce qu'entre ce même gaz et des matières qui ne renferment que de l'oxygène, de l'hydrogène et du carbone.

§ 2. *Phosphorescence des végétaux vivants.*

Si la plupart des débris végétaux peuvent donner une émission de lumière quand ils sont dans un certain état d'altération, il n'y a qu'un petit nombre de plantes qui dans l'état de vie manifestent ce phénomène; encore ne se produit-il que dans des circonstances déterminées et non pas dans toutes les phases de la vie végétale.

Les phénomènes de lumière n'ont guère été observés jusqu'ici que dans une quinzaine de plantes phanérogames, et avec 8 ou 9 végétaux cryptogames. On a prétendu que des fleurs, comme la capucine et le souci, présentent à la tombée du jour, pendant l'été, des phénomènes lumineux de scintillation; mais les effets de ce genre ont été révoqués en doute, et il est probable qu'il faut les attribuer à des illusions d'optique et à ce que au moment de l'observation la diffusion de la lumière sur les fleurs donne à ces dernières un éclat supérieur à celui des corps environnants.

On doit comprendre les champignons parmi les plantes lumineuses comme étant celles qui ont servi aux expériences les plus nettes. On peut citer d'abord les rhizomorphes, puis plusieurs espèces d'agaric, dont quatre sont bien connues; l'agaric de l'olivier (indigène), et qui se trouve dans le midi de la France et dans l'Europe méridionale; l'agaric igné de l'île d'Amboine; l'agaric noctiluque recueilli à Manille par Gaudichaud en 1836; l'agaric de Gardner, ou fleur de coco, du Brésil, et qui naît sur les feuilles mortes du palmier nain. Il est probable que d'autres plantes du même genre présentent des effets semblables à des degrés plus ou moins marqués, et même des auteurs en ont cité plusieurs.

Martius (1) a signalé dans son voyage de Malhada à Bahia au travers

(1) Martius, 2^e partie, Munich, 1828, 6^e livre, 2^e chapitre, p. 594. et 7^e livre, ch. 1^{er}, p. 72, 726, etc.

du Brésil l'existence de l'euphorbia phosphorea, dont le suc liquide est phosphorescent. Les caisses de ses paquets étant venues à heurter les branches de cette plante, il en sortit un lait blanc qui au même moment était phosphorescent. Il répéta à plusieurs reprises le même effet en brisant les branches de la plante. Le phénomène durait chaque fois pendant plusieurs secondes et la lumière émise était plus forte que celle du bois phosphorescent. La température pendant l'observation du phénomène avait été de 25° centigrades; une heure plus tard, cette température était descendue à 20°, et il n'a plus observé aucun phénomène de lumière. Il a encore trouvé fréquemment la plante jusqu'au rio de San-Francisco, formant des fourrés épais et impénétrables, mais il n'a pu voir de nouveau se renouveler ce phénomène.

Martius parle aussi d'un phénomène de phosphorescence qui aurait été observé par Mornay sur une autre plante brésilienne lactescente, et il croit que cette plante pourrait être une apocynée; mais il n'en a pas été témoin.

Les recherches les plus complètes sur la phosphorescence des végétaux ont été faites avec l'agaric de l'olivier; parmi les auteurs qui ont observé les effets que présente ce végétal, on peut citer MM. de Candolle, Delille (1), Friès, et dans ces dernières années, MM. Tulasne (2) et Fabre (3).

En général la phosphorescence se manifeste dans les mois d'octobre et de novembre, sur la face inférieure lamellée ou l'hymen de ces champignons, et elle ne dépasse pas les feuillettes; cependant M. Tulasne a vu toute la masse du champignon lumineuse, et il n'y a que la face supérieure ou cuticule qui ne le soit jamais; il y a des différences quant à l'intensité des effets produits sur les divers sujets sans que la cause en soit connue.

La chaleur et la dessiccation peuvent influer sur la production de la lumière de ces champignons comme sur les bois lumineux; quand ils sont desséchés ils cessent de luire. Un abaissement de température tel que la température extérieure soit à 4° suffit pour faire cesser le phénomène; le maximum, d'après M. Fabre, a lieu quand la température extérieure est de 8 à 10°; au delà de 50°, dans l'eau chaude, la phosphorescence est détruite.

(1) *Nouv. exam. de la phosphorescence de l'agaric de l'olivier.*

(2) *Ann. des sciences naturelles*, 3^e série, partie botanique, t. 9, p. 338, 1848.

(3) *Ibid.*, 4^e série, partie botanique, t. 4, p. 179, 1855.

La production de la lumière exige la présence de l'oxygène ; dans les gaz azote, hydrogène, et acide carbonique toute leur cesse ; dans l'eau aérée la lumière continue à se montrer, mais dans l'eau privée d'air elle cesse de se produire. La lumière se manifeste tout aussi bien le jour que la nuit ; seulement, il faut que l'œil s'habitue à l'obscurité et que l'observateur soit placé préalablement dans une chambre noire pour observer le phénomène, sans quoi il ne pourrait saisir la lueur qu'émettraient les champignons. M. Fabre, qui a observé ce fait, a constaté que les champignons lumineux émettent plus d'acide carbonique que ceux qui ne le sont pas.

Il résulte de ces différentes recherches que la production de la lumière est une manifestation de la vie végétale ; dans ce cas, comme après la mort, il se produit une réaction chimique, une combustion lente, qui n'est accompagnée de lumière que dans des conditions déterminées, et qui donne aux végétaux la propriété d'être lumineux dans l'obscurité. Indépendamment de ces effets, il est possible que les autres champignons, comme le bois et les matières végétales, puissent donner de la lumière quand leur constitution chimique vient à s'altérer.

Cette réaction chimique très-lente ne saurait, on le conçoit, donner une élévation de température appréciable ; aussi les observateurs qui ont cherché à constater l'émission de la chaleur pendant la phosphorescence des végétaux n'ont obtenu aucun résultat appréciable.

CHAPITRE II.

Phosphorescence des animaux.

§ 1. *Phosphorescence des matières animales.*

Les matières animales après la mort peuvent devenir bien plus aisément phosphorescentes que les matières végétales. Presque tous les poissons marins ainsi que les mollusques sont dans ce cas, pourvu que la température extérieure soit de 8 ou 10° et qu'ils soient simultanément exposés à l'influence de l'humidité et de l'oxygène de l'air.

Ainsi au printemps ou pendant l'été, il suffit de suspendre des poissons comme les harengs, les mërllans, dans un endroit frais, et au bout de peu de jours ils commencent à devenir lumineux dans l'obscurité. Leur surface se revêt d'une matière lumineuse que l'on enlève facilement ; la lumière diminue à mesure que le poisson se putréfie, et finit par s'éteindre tout à fait. La phosphorescence se manifeste donc, comme dans le bois, lorsque ces substances se trouvent dans un certain état de décomposition qui précède la putréfaction ; quand celle-ci a lieu, toute lumière cesse.

Les poissons d'eau douce deviennent également lumineux, mais moins facilement que les poissons et les mollusques marins ; il faut les placer dans des dissolutions salines comme on le dira plus loin. La chair de quelques quadrupèdes peut présenter des effets analogues, mais plus rarement. On a même vu, dans des maladies, la figure et les parties du corps des malades (1), ainsi que les urines, présenter une émission lumineuse dans l'obscurité.

Hulme et Dessaignes, dans les mémoires cités livre I, page 10, se sont occupés des différentes conditions physiques nécessaires pour rendre phosphorescentes les matières organiques d'origine animale.

D'après les expériences de Hulme, pour hâter l'apparition de la lumière avec les poissons marins, on prend environ 12 gr. de chair de hareng que l'on met dans une solution de 6 gr. de sulfate de magnésie et de 48 gr. d'eau (ou 8 parties d'eau, 2 de chair de poisson et 1 de sulfate de magnésie). On place le tout dans un bocal et on l'abandonne aux actions spontanées en présence de l'air, à 8 ou 10° de température. Le second jour, on voit distinctement un anneau luisant sur la surface du liquide, tandis que la partie inférieure reste obscure. En agitant le bocal, toute la masse devient lumineuse et reste dans cet état. Le 3^e jour, la lumière se rassemble de nouveau à la surface, mais l'anneau lumineux paraît moins vif. En agitant le flacon la masse entière redevient lumineuse. Avec une solution de sel marin on obtient les mêmes effets.

La laite du hareng, du maquereau, produit aussi la phosphorescence, et même cette propriété y est plus développée qu'avec la chair de ces animaux. Cette lumière atteint son maximum d'intensité vers la troisième ou quatrième nuit.

Hulme a fait également des observations très-curieuses avec les dissolutions salines tenant en suspension les matières organiques désagrégées

(1) Voir Pariset, éloge de Percy.

qui sont phosphorescentes. Il a trouvé que l'eau de chaux, l'eau chargée d'acide carbonique ou d'hydrogène sulfuré détruisait l'effet lumineux. Au contraire les dissolutions de carbonate de soude, de tartrate de potasse, de phosphate de soude, d'azotate de potasse, de miel, de sucre, deviennent lumineuses quand on les mélange avec la matière enlevée sur la surface d'un poisson préparé avec la solution de sulfate de magnésie.

Si l'on ajoute à la solution saline de sulfate de magnésie, devenue lumineuse par la désagrégation du poisson, une proportion plus grande de sel que $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$, aussitôt le liquide redevient obscur. Mais en étendant d'eau la solution, la phosphorescence reparait. En ajoutant de nouveau du sulfate de magnésie, on fait cesser l'émission lumineuse, qui reparait en ajoutant encore de l'eau au liquide. Hulme a pu, dans une expérience, éteindre dix fois une solution et la ranimer un même nombre de fois. J'ai répété ces dernières expériences, qui se font très-aisément.

La dessiccation fait disparaître la lumière de ces matières comme cela a lieu avec les débris végétaux. Un abaissement de température produit le même effet, et le retour à la température ordinaire rétablit l'émission lumineuse. La phosphorescence des poissons lumineux disparaît par une élévation de température de 50°, mais elle peut reparaitre en abaissant la température ; à 100° elle est détruite.

Les poissons lumineux s'éteignent dans le vide, dans les gaz acide carbonique, azote, hydrogène, etc. ; dans l'air ou dans l'oxygène ils se raniment ; dans l'eau pure soustraite à l'action de l'air ils cessent de briller. Dessaignes a vu que dans un milieu privé d'oxygène et contenant des matières animales phosphorescentes, lorsqu'on introduit de l'air par bulles, à chaque bulle la phosphorescence renaît pendant plusieurs minutes puis disparaît pour se renouveler lors d'une nouvelle introduction d'air.

Ces effets ne peuvent s'expliquer qu'en admettant, pour les animaux comme pour les végétaux, une sorte de décomposition en vertu de laquelle l'oxygène brûle la matière organique et donne lieu à une combustion lente ; cette combustion lente serait donc la cause de la lumière émise. Mais se forme-t-il une matière qui est toujours la même avec toutes les matières animales ? ou bien la décomposition s'opère-t-elle en donnant différents produits, mais en présentant toujours une émission lumineuse ? C'est ce qui n'a pas encore été établi.

§ 2. *Phosphorescence des animaux vivants.*

Le nombre des animaux vivants phosphorescents est très-considérable, et on est loin de les connaître tous; les animaux marins surtout l'emportent beaucoup par le nombre des espèces qui présentent ces phénomènes. On doit citer d'abord des infusoires en très-grand nombre et qui sont une des principales causes de la phosphorescence de la mer, dont il va être question plus loin. Beaucoup de zoophytes présentent des effets du même genre (1), et surtout quand on vient à les agiter ou à frapper les algues où ils se trouvent.

Ensuite viennent des méduses, des astéries, des mollusques, des néréides, des crustacés et même des poissons. A Gênes, Viviani a trouvé quatorze espèces d'animaux lumineux, et MM. de Quatrefages et Beneden en ont signalé une soixantaine.

D'après Spallanzani, l'aurélié phosphorique possède la faculté lumineuse dans ses grands bras ou tentacules; le reste de l'animal ne brille pas mais se trouve éclairé. La phosphorescence serait due alors à un liquide visqueux qui suinte à la surface des organes.

Les animaux terrestres lumineux sont en moins grand nombre, et appartiennent presque tous à la classe des insectes; cependant, on compte parmi eux un certain nombre d'espèces, surtout dans les régions tropicales. On peut citer, parmi ces animaux, les lampyres, dont quatre espèces se trouvent dans nos climats (2); le lampyre noctilucque; le lampyre luisant, ou ver luisant; le lampyre d'Italie et le lampyre hémiptère. D'autres espèces sont étrangères à notre pays. Le lampyre, ou ver luisant, que l'on trouve communément dans nos climats a sa femelle sans ailes et le mâle ailé; la femelle seule est lumineuse et la lumière se manifeste sous le ventre dans les trois derniers anneaux. Le lampyre d'Italie a les deux sexes ailés et tous deux sont phosphorescents; on l'appelle aussi fulgore ou mouche porte-lanterne.

La famille des élatères renferme plusieurs espèces du genre pyrophore qui vivent dans les régions tropicales de l'Amérique, et qui sont lumineuses. On peut citer notamment les cucuyos (3), chez lesquels cette

(1) *Edimb. New. phil. jour.*, janv, 1842. — *Biblioth. univ. de Genève*, nouv. série, t. 40, p. 179.

(2) *Dictionnaire des sciences naturelles*, t. 25, article *Lampyre*; 1822.

(3) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 59, p. 509.

propriété est très-développée et qui présente l'émission de lumière en deux points au-dessus de la tête ainsi qu'au-dessous du thorax. Il est probable même que la matière lumineuse est répandue dans différentes parties du corps. Cet insecte est un de ceux où le phénomène de phosphorescence est le plus brillant. On prétend qu'au Mexique les dames s'en servent comme d'un objet d'ornement; elles conservent ces coléoptères, les nourrissent et les placent dans leur parure.

On peut citer encore comme étant phosphorescents la scolopendre électrique et le lombric, ou ver de terre. Ce dernier est principalement lumineux pendant l'été et dans des circonstances qui n'ont pas encore été bien définies (1).

Quoique les lampyres ne soient pas les animaux qui donnent la phosphorescence la plus vive, ce sont ceux qui ont été étudiés avec le plus de soin.

Le lampyre, ou ver luisant, femelle commence à être visible entre sept et huit heures du soir dans les mois chauds de l'année, et assez ordinairement au coucher du soleil; la lumière est produite au moyen d'un appareil qui existe dans l'abdomen. On aperçoit effectivement sur la surface intérieure des trois derniers anneaux une matière jaune blanchâtre, demi-transparente, qui vue au microscope présente une organisation de fibrilles composées de nombreuses ramifications, et qui émet une vive phosphorescence. On a remarqué que la volonté de l'animal influe singulièrement sur le phénomène, puisque le bruit ou le mouvement suffit pour le déterminer à affaiblir sa faculté lumineuse.

Les lampyres, suivant Macaire (2), auquel sont dues les expériences dont les résultats sont indiqués ici, conservés dans une boîte ne deviennent pas phosphorescents lorsqu'on ouvre la boîte pendant la nuit. On ne peut pas en conclure que l'action de la lumière soit nécessaire pour donner lieu à ce phénomène, car l'animal étant gêné dans ses habitudes, sa volonté peut dominer la faculté lumineuse, et il peut se faire qu'il reste alors obscur.

Si l'on chauffe un lampyre vivant et obscur dans de l'eau dont on élève graduellement la température, à la première sensation de chaleur l'animal s'agite beaucoup; à 27° la lumière commence à paraître, et à 41° son éclat est des plus vifs. Bientôt après l'animal meurt, sans que pour cela la phosphorescence disparaisse, car elle continue jusqu'à 57°.

(1) *Dictionnaire de physique*, t. 16, p. 311, 1780.

(2) *Bibliothèque univ. de Genève*, 1821.

Si le lampyre est projeté dans de l'eau à 45 ou 50°, il meurt de suite et acquiert une vive phosphorescence. Il en est encore de même avec les lampyres morts, mais non desséchés, pourvu toutefois qu'ils n'aient pas été exposés à une température de 55 à 60°. Si le lampyre mort est projeté dans de l'eau bouillante il émet une lumière assez vive qui cesse ensuite.

La phosphorescence des lampyres diminue par le froid et cesse quand la température est suffisamment basse. Si l'on expose l'animal à l'action de la chaleur, il reprend sa faculté lumineuse.

Dans le vide, l'animal paraît mort pendant quelque temps. Si on le chauffe alors jusqu'à 50°, la lumière ne paraît pas, tandis que s'il est chauffé préalablement dans un tube plein d'air, il jette une vive lumière. Aussitôt que l'on rend l'air, le corps de l'animal reprend ses dimensions et une vive lumière se manifeste.

Dans le gaz oxygène il y a aussi émission d'une vive lumière qui jette plus d'éclat que celle que l'on obtient dans l'air au moment où on élève la température. Le gaz oxyde de carbone produit à peu près les mêmes effets. Dans l'hydrogène, un lampyre luisant y meurt bientôt, et la lumière ne paraît plus même en appliquant l'action de la chaleur; on obtient un effet analogue dans les gaz acide carbonique, sulfureux, et hydrogène sulfuré.

L'animal vivant et obscur étant placé dans un circuit voltaïque y devient légèrement lumineux; on augmente encore l'effet en l'humectant d'eau pour rendre son corps meilleur conducteur. Si l'on enlève la tête de l'animal et que l'on introduise l'un des fils conducteurs de la pile jusqu'àuprès des trois anneaux lumineux et l'autre dans une partie telle que le courant traverse le corps, la phosphorescence se manifeste de la manière la plus vive, surtout lorsque le courant traverse la partie inférieure de l'abdomen où se trouve l'organe lumineux; dans le vide il n'y a aucun effet.

La matière seule soumise à l'expérience augmente d'éclat jusqu'à environ 41°, après quoi elle diminue, devient rougeâtre et cesse tout à fait de luire à 52°. Elle se comporte en général dans les gaz comme le lampyre.

M. Matteucci (1) s'est occupé de la lumière émise par le lampyre d'Italie, soit quand cet insecte est vivant, soit quand la matière lumineuse est extraite de son corps. Dans ce lampyre, les deux derniers

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3^e série, t. 9, p. 71 (1843).

segments du corps qui sont lumineux dans l'obscurité sont jaunâtres pendant le jour. Lorsqu'on tient l'insecte retourné, il luit par intermittences, mais la matière jaunâtre séparée du corps continue à luire pendant plus ou moins longtemps.

M. Matteucci a confirmé les observations de Macaire en ce qui concerne l'action de la chaleur sur ces effets de phosphorescence; il a vu que les lampyres placés dans de l'eau chaude donnaient une émission lumineuse dont la vivacité augmentait jusqu'à 37 à 38°, et qu'à 50° toute phosphorescence était détruite. Un abaissement de température produisait un effet semblable, car à 0° la phosphorescence était bien diminuée et à — 6° elle disparaissait.

Il a vu également que les lampyres cessent de luire dans l'acide carbonique, reprennent leur phosphorescence dans l'oxygène, et que placés dans l'oxygène ou dans l'air, l'émission lumineuse est accompagnée de la formation d'une certaine quantité d'acide carbonique. La matière lumineuse extraite des insectes se comporte de même.

M. Carus (1), qui a fait également des recherches avec la matière lumineuse extraite du lampyre d'Italie, a vu que cette matière étant desséchée perd toute sa phosphorescence, et la reprend quand elle est humectée.

Ces recherches montrent donc que l'oxygène est nécessaire à la production de la lumière, et il est probable que la phosphorescence dans les animaux vivants, comme avec les matières organiques animales et végétales, est le résultat d'une action chimique que domine la volonté de l'animal, puisqu'il a la faculté de la diminuer insensiblement jusqu'au point de la faire disparaître tout à fait. Mais est-ce une matière particulière? par quel organe est-elle sécrétée? C'est ce qui n'a pas été démontré jusqu'ici. On sait seulement que ces phénomènes lumineux se produisent en général à l'époque de l'accouplement des animaux.

L'analyse optique de la lumière émise par les animaux et par les végétaux phosphorescents n'a conduit à aucun résultat, car les images prismatiques sont continues et dénuées de raies brillantes ou obscures (2). On a vu dans le livre précédent, page 340 et suiv., que lors de la phosphorescence des corps solides placés dans le phosphoroscope on pouvait obtenir des raies obscures ou des bandes brillantes, et que par conséquent les

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences*, t. 59, p. 607, 1864.

(2) Voir *Traité d'optique d'Herschell*, traduction de Quételet, t. 2, p. 455 (1833).
Comptes rendus de l'Acad. des sciences, t. 59, p. 509.

phénomènes de phosphorescence présentaient d'autres effets que les phénomènes d'ignition, puisque dans ce dernier cas les solides et les liquides offrent des spectres continus et que les gaz incandescents donnent des raies lumineuses. Mais il se trouve que les matières organiques lumineuses qui ont été examinées jusqu'ici n'ont offert aucune particularité dans ce sens.

§ 3. *Phosphorescence de la mer.*

La phosphorescence de la mer, comme la plupart des phénomènes météorologiques, a dû être observée de toute antiquité. Dans certaines contrées, la lumière qu'elle donne quelquefois est tellement brillante que les personnes qui prennent le moins d'intérêt aux phénomènes naturels sont frappées de l'effet qu'elle produit.

Dans toutes les régions océaniques, mais particulièrement sous la zone tropicale, dès la chute du jour on voit jaillir du sein des eaux une lumière phosphorique plus ou moins vive, due en général à des animalcules qui s'y trouvent contenus. Des matières organiques tenues en suspension dans les eaux, et analogues à la mucosité qui suinte des poissons de mer, pourraient peut-être quelquefois donner lieu au même phénomène; cependant, la première cause est celle qui est la plus générale.

La lumière se montre quelquefois aux crêtes des vagues et partout où l'eau de la mer est agitée. L'effet peut être tel qu'un vaisseau laisse au loin, derrière lui, une traînée lumineuse qui s'efface lentement. MM. Becquerel et Breschet (1) dans un voyage à Venise observèrent ce phénomène à l'embouchure de la Brenta, et constatèrent cette influence de l'ébranlement pour exciter vivement l'émission lumineuse. Cette lueur dirige même les pêcheurs et leur indique les poissons rassemblés qui en sautant font jaillir la lumière.

Il existe dans la mer une foule d'infusoires et d'animalcules qui jouissent de la phosphorescence; suivant leur nature et leur activité, le phénomène est plus ou moins brillant. Quand les animaux sont très-nombreux, leur phosphorescence peut être telle que les eaux sont tout à fait blanches; on indique cet effet par le nom de mer de lait ou mer de neige.

MM. Quoy et Gaimard (2) rapportent à propos de ce phénomène les

(1) Becquerel, *Traité d'électricité*, en 7 vol., t. 4, p. 75.

(2) *Ann. des sciences naturelles*, t. 4, p. 12.

observations suivantes : étant mouillés dans la petite île de Rawak, placées sous l'équateur, ils virent un soir, sur l'eau, des lignes d'une blancheur éclatante; en les traversant avec leur canot, ils voulurent en enlever une partie, mais ils ne trouvèrent qu'un fluide dont la lueur disparut entre les doigts. Peu de temps après, pendant la nuit, et la mer étant calme, ils virent près du vaisseau beaucoup de zones semblables, blanches et fixes; les ayant examinées avec soin, ils reconnurent qu'elles étaient produites par des zoophytes d'une petitesse extrême, et qui renfermaient en eux un principe de phosphorescence si subtil, qu'en nageant avec vitesse et en zigzag, ils laissaient sur la mer les traînées lumineuses dont on vient de parler. Ils mirent le fait hors de doute en plaçant dans un bocal rempli d'eau deux de ces animalcules qui rendirent immédiatement toute l'eau lumineuse. Ils ont constaté en outre que la chaleur est une des causes déterminantes de la faculté lumineuse de ces animalcules.

M. Ehrenberg (1), qui a étudié la lumière émise par les infusoires et les annélides lesquels dans certaines contrées rendent la mer lumineuse, a vu qu'au microscope, la lueur diffuse qui les entoure, n'est autre que la réunion d'une multitude de petites étincelles qui partent de tous les points de leur corps et particulièrement du corps des annélides. Ces étincelles se succédaient avec une telle rapidité et avaient une telle ressemblance avec celles que l'on observe dans les décharges électriques que M. Ehrenberg a établi un rapprochement entre ces deux ordres de phénomènes. Il pense que la lumière émise n'est pas due à une sécrétion particulière, mais à un acte spontané de l'animal, et qu'elle se manifeste aussi souvent qu'on l'irrite par des moyens mécaniques ou chimiques, c'est-à-dire en agitant l'eau ou en versant quelques gouttes d'un acide; une fois les animaux ayant donné de la lumière, en les laissant reposer pendant un certain temps, ils recommencent à produire les mêmes effets. Lorsqu'on fait usage d'un acide trop concentré les animalcules périssent rapidement.

Le noctiluque miliaire est un des infusoires qui contribuent le plus à la phosphorescence de la mer sur nos côtes et probablement sur les côtes du nord. Ce sont des petits animalcules de forme globulaire ayant $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{6}$ de millim. de diamètre; en les supposant pressés les uns contre les autres, il pourrait donc s'en trouver de 25 à 30 mille dans un

(1) Voir Becquerel, *Traité de physique*, t. 2.

centimètre cube. M. de Quatrefages (1) a étudié la lumière émise par cet infusoire et a vu, comme Ehrenberg, en observant la lumière au microscope, que cette lumière est due à une multitude de petits points lumineux isolés, présentant l'apparence d'étincelles. Quelques auteurs ont pensé que les points lumineux pourraient être des germes, et rattacheraient l'émission de la lumière au phénomène de génération.

M. de Quatrefages a reconnu que tous les agents physiques ou chimiques qui excitent la contraction des noctiluques produisent en même temps un redoublement de phosphorescence. Il a conclu de ses observations, que chez les noctiluques la phosphorescence semble se rattacher à la contraction spontanée, et n'est pas un phénomène de combustion comme chez les lampyres.

MM. Charles Robin et Legros ont vérifié ce fait que, lors de la phosphorescence des noctiluques, le plus léger ébranlement donne lieu dans tout le corps de l'animalcule, et non pas dans une région plutôt que dans une autre, à chaque contraction qu'il fait, la propriété de devenir lumineux. Ayant fait passer des courants électriques donnés par un appareil d'induction dans de l'eau contenant des noctiluques, ils ont vu que ce passage produisait une excitation temporaire, donnant lieu chaque fois à une vive émission lumineuse, qui cessait peu à peu quand le passage de l'électricité était interrompu.

(1) *Comptes rendus de l'Acad. des sciences*, t. 31, p. 428 et 618.

ADDITIONS ET ERRATA.

1° Note relative à la source lumineuse prise pour unité dans la comparaison des pouvoirs éclairants des becs de gaz.

Pages 98 et 121, on a dit que la source lumineuse prise pour unité dans la comparaison des pouvoirs éclairants des différentes flammes, était le bec Carcel toujours monté de la même manière, de façon à brûler 42 gr. d'huile de colza épurée par heure. On a dit également, page 120, que la lumière du gaz est fort variable, et que l'on ne peut indiquer des résultats que relativement à une composition déterminée du gaz, ainsi qu'à la forme du bec dans lequel il brûle, à sa température, à sa pression lors de sa sortie, et à la vitesse du courant d'air.

MM. Dumas et Regnault, ayant été chargés d'une étude sur le pouvoir éclairant du gaz d'éclairage dans la ville de Paris, ont fait installer un appareil de vérification permettant de déterminer les consommations d'huile et de gaz effectuées pendant un temps donné par une lampe et par un bec de gaz, brûlant autant que possible dans les mêmes conditions, et donnant la même quantité de lumière. Ces expériences ont été suivies par MM. Audouin et Bérard (1).

Ces recherches ont montré quelle était l'influence de conditions diverses dans la grandeur et la hauteur de la mèche, la position du verre, etc., sur la dépense et le pouvoir éclairant de l'huile, puis ensuite comment la combustion du gaz s'opérait dans les différents becs généralement en usage. Les expériences se rapportent au gaz d'éclairage fourni par la distillation de la houille; avec le gaz provenant d'autres matières bitumineuses, les résultats pourraient être différents.

En employant les becs à une ouverture, dits becs bougies, comme avec les becs à fente ou bec papillons, la consommation du gaz est plus

(1) *Ann. de chimie et de physique*, 3^e série, t. 65, p. 424.

grande que cela est nécessaire pour une même quantité de lumière; d'un autre côté, une même quantité de gaz peut donner des quantités différentes de lumière suivant les dimensions de l'ouverture, et en général le pouvoir éclairant augmente quand, toutes conditions étant les mêmes, la pression du gaz diminue.

Les becs à double courant d'air, c'est-à-dire construits d'après le principe du bec d'Argand, et composés d'une couronne circulaire percée soit d'une fente continue, soit de trous dont le nombre varie, donnent en général une meilleure utilisation de la matière brûlée. Le pouvoir éclairant de ces becs peut également varier suivant le diamètre des trous, leur nombre, la distribution de l'air servant à la combustion et la hauteur du verre. Néanmoins, lorsque la combustion s'opère avec des becs en porcelaine, et que la pression du gaz à la sortie est faible, l'intensité lumineuse est la plus forte.

L'intensité lumineuse de la flamme du gaz est due à l'irradiation des particules de carbone incandescentes qui proviennent d'une décomposition du gaz et qui sont destinées à être brûlées ultérieurement. Si la combustion a lieu incomplètement, les particules de charbon qui échappent à la combustion se répandent en fumée dans l'atmosphère; si la combustion a lieu trop complètement, le pouvoir éclairant de la flamme peut être diminué ou même à peu près détruit, comme on l'observe en mélangeant le gaz avec une proportion déterminée d'air atmosphérique. Les expériences ont montré que l'introduction dans le gaz d'éclairage ordinaire de 6 p. 100 d'air suffit pour diminuer de moitié son pouvoir éclairant. Un mélange de 20 pour 100 ou de $\frac{1}{5}$ du volume ne donne plus de lumière. Ainsi le mélange d'une faible quantité d'air au gaz est désavantageux à son pouvoir éclairant.

D'après ces recherches, l'instruction relative à la comparaison de la flamme du gaz d'éclairage porte que dans l'appareil de M^{rs} Dumas et Regnault, la flamme de la lampe Carcel prise pour type, et celle du bec de gaz normal étant amenées, au moyen du photomètre, fig. 6, p. 101, à donner la même quantité de lumière, quand la lampe Carcel a brûlé 10 grammes d'huile, le bec doit avoir brûlé 25 litres de gaz s'échappant sous une pression de 2 à 3 millimètres d'eau.

La lampe Carcel doit avoir un bec dont les dimensions sont déterminées, et dont le diamètre extérieur est de 23 millim. 50; elle doit être remplie d'huile de colza épurée, et être amenée à brûler 42 gr. d'huile à l'heure.

Le bec de gaz normal est un bec en porcelaine à double courant d'air et dit bec Bengel. Il a 30 trous dans la couronne, le diamètre de chaque trou étant de $0^{\text{mm}},6$; le diamètre extérieur de la couronne est de $22^{\text{mm}},5$, le diamètre entre les trous de $16^{\text{mm}},5$ et le diamètre intérieur de l'ouverture du courant d'air de 9 millimètres.

2° Note relative à l'incandescence des corps solides colorés.

On a dit, page 104, que l'image prismatique des corps solides incandescents était continue, et que sous ce rapport, d'après les observations de MM. Bahr et Bunsen, l'erbine faisait exception.

J'ai pu vérifier ce résultat, et observer les bandes lumineuses que présente cette terre, lorsque étant placée à l'extrémité d'un fil de platine elle se trouve portée à la température rouge dans la flamme du gaz mélangé d'air.

Les substances qui se colorent par élévation de température et qui restent colorées près de la température rouge, indiquent une disposition moléculaire d'après laquelle certains rayons lumineux sont réfléchis en plus grande proportion et d'autres sont absorbés. Tel est l'oxyde de zinc, non éclairante qui devient jaune par élévation de température; placé dans la flamme d'un bec de gaz, bien qu'il soit volatil, si l'on examine le spectre qu'il donne par incandescence, on trouve que ce spectre contient la partie la moins réfrangible et très-peu de rayons bleus; ce corps se comporte donc par irradiation comme lorsqu'il est vu par diffusion à la lumière du jour, c'est-à-dire qu'il absorbe les rayons les plus réfrangibles.

En est-il de même avec l'erbine? Cela est assez difficile à dire, car précisément les bandes lumineuses sont à la même place que les bandes noires d'absorption obtenues par le passage de la lumière au travers de la dissolution d'un sel d'erbium. Rien ne s'oppose cependant à ce que les corps lumineux par incandescence présentent, près de leur surface, des effets d'absorption, puisque l'on a vu, page 340 et suiv., que les corps phosphorescents, sous l'influence de la lumière, peuvent

donner des images spectrales avec des bandes lumineuses et des raies noires.

Page 160. La planche fig. 18, placée à côté du texte, et qui renferme les images spectrales relatives aux principaux métaux, ne porte pas de numéro.

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE PARTIE.

SOURCES DE LUMIÈRE.

Pages.

PRÉLIMINAIRES.

SOURCES LUMINEUSES DIVERSES, SOURCES CÉLESTES OU MÉTÉORIQUES.. 1

LIVRE PREMIER.

NOTICE HISTORIQUE DES RECHERCHES FAITES SUR LA PHOSPHORESCENCE JUSQU'EN 1840.

CHAP. I ^{er} . <i>État des connaissances sur la phosphorescence jusqu'au commencement du dix-septième siècle.</i>	
§ 1. Phosphorescence des corps organisés.....	9
§ 2. Minéraux supposés lumineux. escarboucle, anthrax, pyrope.....	11
CHAP. II. <i>Découvertes faites dans le dix-septième siècle.</i>	
§ 1. Pierre de Bologne. Diamant lumineux.....	16
§ 2. Phosphore.....	19
CHAP. III. <i>Recherches entreprises depuis le commencement du dix-huitième siècle jusqu'en 1840.</i>	
§ 1. Phosphorescence par les actions mécaniques.....	20
§ 2. Phosphorescence par l'action de la chaleur.....	22
§ 3. Phosphorescence par l'action de la lumière.....	25

LIVRE II.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR LES ACTIONS MOLÉCULAIRES.

CHAP. I ^{er} . <i>Effets lumineux produits par le frottement et par la percussion....</i>	35
CHAP. II. <i>Effets lumineux produits par le clivage et par la cristallisation.</i>	
§ 1. Clivage.....	38
§ 2. Cristallisation.....	39

LIVRE III.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR LA CHALEUR.

	Pages.
CHAP. I^{er}. Phosphorescence par l'action de la chaleur.	
§ 1. Phénomènes généraux. Substances impressionnables diverses.....	43
§ 2. Influence de la lumière sur le pouvoir de phosphorescence par la chaleur. Action temporaire ; action permanente.....	51
§ 3. Combustion lente. Phosphore.....	57
§ 4. Incandescence phosphorique.....	59
CHAP. II. Incandescence, irradiation.	
§ 1. Effets généraux ; pyromètre employé dans l'étude de l'irradiation.....	61
§ 2. Température à laquelle tous les corps deviennent lumineux. Intensité des rayons émis ; photomètre destiné à son évaluation.....	70
§ 3. Intensité des rayons différemment réfrangibles émis par les corps incan- descents. Intensité totale de la lumière émise.....	86
§ 4. Comparaison des pouvoirs éclairants des différentes sources de lumière. Unité lumineuse. Photomètres divers.....	97
§ 5. Lumière émise par les solides, les liquides et les gaz. Pouvoir éclairant des flammes ; bougies, lampes, gaz d'éclairage, chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, lampe au magnésium, arc voltaïque.....	104
§ 6. Intensité de la lumière émise par les corps incandescents placés dans di- verses sources calorifiques ; évaluation approchée de leur température.	122

LIVRE IV.

ANALYSE DE LA LUMIÈRE PAR RÉFRACTION.

CHAP. I^{er}. Sources lumineuses d'origine céleste ou météorique.	
§ 1. Spectre coloré ; raies du spectre solaire et des spectres stellaires.....	129
§ 2. Spectre ultra-violet.....	138
§ 3. Spectre infra-rouge.....	141
§ 4. Longueur d'onde des rayons de diverse réfrangibilité.....	145
CHAP. II. Sources lumineuses par incandescence.	
§ 1. Appareils destinés à l'étude spectrale ou spectroscopes.....	149
§ 2. Analyse par réfraction de la lumière des flammes. Raies brillantes. Raies caractéristiques des différents corps.....	154
§ 3. Causes des raies du spectre solaire.....	162

LIVRE V.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR L'ÉLECTRICITÉ.

	Pages.
CHAP. I ^{er} . <i>Étincelles électriques.</i>	
§ 1. Lueurs et étincelles. Influence de la nature des gaz et des conducteurs...	167
§ 2. Photomètre fondé sur l'emploi de la lumière électrique.....	173
CHAP. II. <i>Lumière électrique dans les gaz raréfiés ou échauffés.</i>	
§ 1. Lumière électrique dans les gaz raréfiés.....	174
§ 2. Arc voltaïque.....	179
CHAP. III. <i>Composition de la lumière électrique.</i>	
§ 1. Lueurs et étincelles électriques.....	182
§ 2. Arc voltaïque.....	188
CHAP. IV. <i>Persistance lumineuse des gaz après le passage des décharges électriques.</i>	192
CHAP. V. <i>Météores lumineux d'origine électrique.</i>	
§ 1. Lueurs électriques de l'atmosphère; éclairs.....	197
§ 2. Aurore polaire.....	199

LIVRE VI.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR L'ACTION DE LA LUMIÈRE.

CHAP. I ^{er} . <i>Substances dont la phosphorescence est de longue durée. Phosphores, artificiels.</i>	
§ 1. Substances phosphorescentes diverses.....	207
§ 2. Sulfures phosphorescents. Couleur de la lumière émise à la température ordinaire.....	214
Sulfures de calcium.....	216
Sulfures de strontium.....	231
Sulfures de barium.....	236
Sulfure de zinc.....	240
CHAP. II. <i>Durée et intensité de la lumière émise.</i>	
§ 1. Durée de la lumière émise par les différents corps phosphorescents à longue persistance.....	244
§ 2. Durée de la persistance des impressions lumineuses sur les corps. Phosphroscope.....	247
§ 3. Substances impressionnables diverses visibles dans le phosphroscope....	256
§ 4. Intensité maximum de la lumière émise par un corps pour une intensité lumineuse incidente déterminée.....	260

	Pages.
§ 5. Vitesse de déperdition de la lumière émise par un corps phosphorescent, quand l'émission est de très-courte durée. Pouvoir émissif et capacité des différents corps pour la lumière.....	273
§ 6. Vitesse de déperdition de la lumière quand l'émission lumineuse du corps est de longue durée. Effets présentés par les phosphores artificiels.....	285
CHAP. III. Réfrangibilité des rayons actifs; spectres phosphorogéniques. Action de la lumière électrique et des lumières artificielles.	
§ 1. Action des rayons de diverse réfrangibilité sur les substances phosphorescentes à la température ordinaire.....	298
§ 2. Phosphorescence de courte durée; effets présentés par les corps organiques comme le bisulfate de quinine, l'esculine, la chlorophylle, etc., exposés à l'action des rayons violets et ultra-violetts du spectre.....	316
§ 3. Action des écrans colorés et de diverses sources lumineuses. Lumières artificielles; lumière électrique. Tubes à gaz raréfiés avec matières phosphorescentes.....	322
CHAP. IV. Composition de la lumière émise par les corps phosphorescents.	
§ 1. Appareils employés.....	334
§ 2. Alumine et ses combinaisons.....	337
§ 3. Diamant.....	348
§ 4. Composés à base de calcium : carbonate, fluorure, phosphate, silicate, etc.....	353
§ 5. Composés à base alcalines et terreuses.....	372
§ 6. Sels d'uranium, platino-cyanures et substances diverses.....	378
CHAP. V. Influence de l'état et de la nature des corps sur les effets de phosphorescence par insolation. Extinction des rayons actifs; rayonnement des corps phosphorescents.	
§ 1. Influence de la température; action temporaire.....	385
§ 2. Influence de la température; modification permanente.....	394
§ 3. Influence de l'état du corps; état solide et état liquide. Forme cristalline.....	397
§ 4. Influence de la direction des rayons incidents. Extinction des rayons actifs.....	399
§ 5. Rayonnement des corps phosphorescents. Effets chimiques, phosphorogéniques et calorifiques produits par son action.....	401
Transmission de l'effet de phosphorescence au delà des points impressionnés.....	404
Résumé et conclusion du livre 6.....	406

LIVRE VII.

EFFETS LUMINEUX PRODUITS PAR LES CORPS ORGANISÉS.

CHAP. I^{er}. *Phosphorescence des végétaux.*

§ 1. Matières végétales; bois lumineux.....	409
§ 2. Phosphorescence des végétaux vivants.....	411

TABLE DES MATIÈRES.

431

	Pages.
Chapitre II. <i>Phosphorescence des animaux.</i>	
§ 1. Phosphorescence des matières animales.....	414
§ 2. Phosphorescence des animaux vivants.....	416
§ 3. Phosphorescence de la mer.....	420

ADDITIONS ET ERRATA.

Note relative à la lumière prise pour unité dans la comparaison des pouvoirs éclairants de becs de gaz.....	423
Note relative à l'incandescence des corps solides colorés.....	425

FIN.

AVIS POUR LE PLACEMENT DES PLANCHES
DU PREMIER VOLUME.

1°	Planche fig. 12, spectre coloré.	mettre à la page	130
2°	— fig. 13, raies du spectre solaire.	—	<i>id.</i>
3°	— fig. 18 (par erreur sans numéro), raies brillantes des spectres des flammes.	—	100
4°	— fig. 21 <i>bis</i> et 22 <i>bis</i> relatives à l'aurore boréale . . .	—	200
5°	— fig. 32, spectres de phosphorescence	—	304
6°	— fig. 39, <i>id.</i> <i>id.</i>	—	336



1

2

3

4

5

6

7

8

9

10



