ANNALES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR QUELQUES

ACTINOMÈTRES

ÉLECTRO-CHIMIQUES

XXIX. — Mai 1897

Lyon. — Imp. PITRAT AINÉ, A. REY Succ. 4 rue Gentil. — 14992

ANNALES DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR QUELQUES

ACTINOMÈTRES

ÉLECTRO-CHIMIQUES

PAR

H. RIGOLLOT

Docteur ès Sciences.

ÉCOLE CENTRALE D'ARTS ET MANUFACTURES

PARIS

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain.

1897

INTRODUCTION

Je me suis proposé, dans ce travail, d'étudier le développement des forces électromotrices sous l'action de la lumière, quand deux lames métalliques immergées dans un électrolyte sont, l'une éclairée, l'autre maintenue dans l'obscurité.

Les expériences ont porté sur des lames de cuivre recouvertes d'oxyde, de sulfure, de fluorure, de chlorure, de bromure et d'iodure du même métal ; sur des lames d'étain oxydé, d'étain sulfuré et sur des lames d'argent sulfuré.

Les recherches ont d'abord été faites sur l'action de la lumière blanche, puis j'ai examiné la part qui, dans le phénomène, revenait à chaque radiation. J'ai tenté ensuite, guidé par la méthode employée en photographie pour sensibiliser les composés d'argent plus spécialement pour telle ou telle radiation, de rechercher si certaines matières colorantes agissant sur les composés du cuivre ne donneraient pas un accroissement de force électromotrice et quelles étaient les radiations qui surtout étaient actives pour une matière colorante donnée. J'ai enfin indiqué dans quelles limites les actinomètres formés avec les lames étudiées pouvaient donner lieu à des applications pratiques.

De là, trois parties :

1° *Étude des lames en lumière blanche ;*

2° *Étude des lames dans le spectre ;*

3° *Action sensibilisatrice des matières colorantes.*

Les lames employées dans les actinomètres sont désignées sous le nom de « lames de cuivre fluoruré, chloruré, etc. », désignation qui n'a pour but que de rappeler qu'on a préparé ces lames en les recouvrant d'une couche de fluorure, de chlorure, etc., du même métal.

Avant d'exposer les résultats auxquels je suis arrivé, qu'il me soit permis de remercier M. le professeur Gouy, pour les excellents conseils et les encouragements qu'il n'a cessé de me donner. Je lui suis également très reconnaissant d'avoir bien voulu mettre si libéralement à ma disposition toutes les ressources de son laboratoire.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR QUELQUES

ACTINOMÈTRES ÉLECTRO-CHIMIQUES

HISTORIQUE

C'est E. Becquerel qui, le premier, a signalé que la lumière pouvait établir une différence de potentiel entre deux lames métalliques. En 1839 il constatait[1] qu'en immergeant deux lames dans un liquide conducteur de l'électricité et qu'en faisant tomber sur l'une un faisceau lumineux, l'autre restant dans l'obscurité, un galvanomètre indiquait qu'un courant prenait naissance, allant de la lame éclairée à l'autre lame ou inversement suivant la nature du liquide. Dans ses premières recherches, E. Becquerel employait des lames de platine ou d'or plongées dans des solutions acides ou alcalines, les effets observés étaient très faibles et dus, d'après l'auteur, à l'oxydation sous l'action de la lumière des corpuscules de matières organiques adhérents aux lames, malgré les soins apportés pour les décaper. Aussi ces métaux furent abandonnés et remplacés dans ses recherches par des corps métalliques altérables, comme le laiton[2] et l'argent. Après avoir signalé le fait que des lames de laiton exposées, dans de l'eau légèrement

[1] E. Becquerel, *La lumière*, t. II, p. 121, 1868.
[2] *Loc. cit.*, p. 128.

acidulée, à l'influence des rayons solaires ont donné lieu à un courant électrique dû probablement à l'action de la lumière sur l'oxyde de cuivre ou sur un composé cuivreux formé et avoir ajouté que ces lames ayant servi préalablement d'électrodes positives dans un liquide contenant un chlorure sont devenues encore plus impressionnables, sensibles du rouge au bleu dans un spectre lumineux, E. Becquerel concentre toutes ses recherches sur les composés haloïdes d'argent.

Depuis les expériences de E. Becquerel, de nombreux travaux ont été entrepris sur le même sujet; je passerai rapidement en revue ceux de ces travaux qui se rapportent plus spécialement aux composés étudiés dans la suite, laissant par conséquent de côté les recherches faites sur les composés haloïdes d'argent, le sélénium et quelques autres métaux ou composés métalliques.

En 1864, Paccinotti[1] montre également que deux lames de laiton plongées dans l'eau acidulée sont capables, sous l'influence de la lumière, de donner naissance à un courant ; la lame insolée est électronégative vis-à-vis de l'autre et la lumière violette agit beaucoup plus fortement que la bleue ; la rouge ne produit presque aucun effet.

Pour des recherches analogues, Hankel[2] prend deux lames métalliques identiques, en place une dans un vase poreux et l'autre dans un vase de verre contenant le vase poreux, le même liquide conducteur est dans les deux vases ; l'appareil est logé dans une caisse noircie, une ouverture pratiquée sur l'une des faces peut recevoir un écran opaque ou des verres différemment colorés. Il a étudié l'action de la lumière sur le cuivre décapé et sur le cuivre oxydé : la lame de cuivre éclairée s'est montrée négative ; les lames de cuivre oxydé ont une tout autre allure : la lumière rend la lame éclairée d'abord positive, puis brusquement négative et, quand l'éclairement cesse, Hankel

[1] Paccinotti, *Cimento*, t. XVIII, p. 373, 1864.
[2] Hankel, *Wied. Ann.*, t. I, p. 402, 1877.

constate que la force électromotrice négative s'accroît brusquement encore avant de disparaître.

Hankel a montré également avec son électromètre l'influence de la lumière sur la force électromotrice d'une pile zinc-cuivre et eau. Il réunissait les pôles de même nom de deux séries de quarante petits éléments à un électromètre, chaque groupe étant protégé de la lumière par une boîte de carton noirci : la feuille d'or n'était pas déviée, mais venait-on à enlever une des boîtes protectrices, aussitôt on constatait une déviation.

Le même physicien a fait également porter ses recherches sur l'étain et a trouvé qu'une lame d'étain éclairée devient négative même dans la lumière bleue.

M. Pellat[1], en 1879, a signalé la variation de la force électromotrice d'un élément Daniell, suivant que cet élément était ou non éclairé, variation qui pouvait atteindre le $\frac{1}{40}$ de sa valeur. Dans l'élément étudié, l'électrode de cuivre était recouverte de vert-de-gris et la lumière tombant sur l'électrode diminuait la la force électromotrice de la pile. M. Pellat a en outre reconnu que si on prenait comme électrode positive un fil de cuivre oxydé, c'est une augmentation de la force électromotrice qui avait lieu sous l'action de la lumière, c'est-à-dire que l'électrode de cuivre devenait plus positive.

En 1888, M. Gouy[2] et moi avons reconnu qu'une lame de cuivre oxydé, plongée dans une dissolution de chlorure, bromure ou iodure métallique, devient très sensible aux rayons lumineux et peut servir comme actinomètre.

Minchin[3], dans ses recherches en photo-électricité, a passé en revue les composés de différents métaux, en premier lieu ceux d'argent. Il constate que des courants comparativement plus intenses sont obtenus en recouvrant une plaque d'argent avec

[1] *Comptes rendus*, t. LXXXIX, p. 227, 1879.
[2] *Comptes rendus*, t. CVI, p. 1480, 1888.
[3] *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXXI, p. 213, 1891.

une émulsion sensible teinte à l'éosine, au rouge de naphtaline, au vert à l'iode, mais remarque que la matière colorante quitte la pellicule et se répand promptement dans le liquide. Il préconise l'immersion dans une solution d'alun pour retarder le départ de la matière colorante. Il signale également le bismuth, le cuivre, l'antimoine et autres métaux comme ayant été l'objet de ses expériences, mais d'après lui les résultats n'étaient pas suffisamment importants pour demander une mention détaillée. Il ne fait d'exception que pour les lames d'étain oxydé qu'il étudie plus particulièrement et dont il donne la préparation.

Le sulfure d'étain est cité par MM. Mercadier et Chaperon [1] comme pouvant servir de substance radiophonique au même titre que le sulfure d'argent; il n'a été étudié qu'au point de vue de la variation de sa résistance électrique sous l'influence de la lumière; l'effet obtenu serait moitié moindre que celui donné par le sulfure d'argent.

M. P. Laur[2] a formé une pile d'une lame d'argent sulfuré immergée dans une solution de 100 parties d'eau, 15 de sel marin et 7 de sulfate de cuivre, contenue dans un vase de verre: l'autre pôle était un fil de platine plongeant dans un vase poreux contenant du mercure, placé au milieu de la solution. Il a constaté que la lumière tombant sur la lame d'argent sulfuré modifiait la force électromotrice. Il attribue ce résultat à la formation sous l'influence de la lumière de chlorure cuivreux qui réduit le sulfure d'argent.

MM. Chaperon et Mercadier[3], dans leurs études sur la radiophonie basée sur la variation de conductibilité du sulfure d'argent par l'effet de radiations lumineuses intermittentes, ont été amenés à rechercher si on n'obtiendrait pas des résultats analogues en s'adressant aux variations de forces électromotrices produites par ces mêmes radiations. Ils ont construit un couple

[1] *Journ. de Phys.*, 2e série, t. IX, p. 336, 1890.
[2] *Comptes rendus*, t. LCIII, p. 851, 1881.
[3] *Comptes rendus*, t. CVI, p. 1595, 1888.

galvanique composé d'une lame d'argent recouverte, par électrolyse du sulfure de sodium, d'une très mince couche de sulfure d'argent et d'une autre lame d'argent simplement décapée, le tout plongé dans un liquide conducteur, ce couple paraît sensible à presque toutes les radiations lumineuses.

Quelques essais ont été tentés pour appliquer à la photométrie les actinomètres électrochimiques. E. Becquerel[1] préconise l'emploi de son actinomètre à lames d'argent recouvertes de chlorure, bromure, iodure du même métal et fait remarquer que les résultats obtenus avec cet appareil ne sont comparables qu'autant qu'on s'adresse à la même substance sensible.

Egoroff[2] a construit un actinomètre différentiel à plaque d'argent ioduré pour comparer le pouvoir absorbant des diverses substances pour les rayons ultra-violets et a proposé de se servir de cet appareil comme photomètre en plaçant sur le trajet des rayons lumineux un écran absorbant les rayons extrêmes du spectre, par exemple une dissolution aqueuse d'esculine.

Minchin[3] emploie pour la photométrie stellaire un actinomètre formé de lames d'aluminium sur lesquelles on étend à chaud une couche de sélénium, les lames plongeant dans l'œnanthol ; il met cet actinomètre à la place de l'oculaire dans un télescope et compare la lumière reçue des planètes et même de quelques étoiles.

[1] E. Becquerel, *La lumière*, t. II, p. 157, 1868.
[2] *Journ. de Phys.*, 1re série, t. VII, p. 332, 1878.
[3] *Natur.*, t. XLVIII, p. 70.

DISPOSITION GÉNÉRALE DES EXPÉRIENCES

Toutes les expériences ont été faites avec des actinomètres de construction analogue, les électrodes seules variant d'un appareil à l'autre.

Deux lames métalliques ayant 0,5 millimètre d'épaisseur, 8 à 10 centimètres de longueur et, suivant les cas, une largeur de 1,5 à 4 millimètres, sont rendues sensibles sur l'une de leurs faces, l'autre face étant recouverte d'une couche de paraffine ou de vernis isolant. Ces lames sont fixées dans un bouchon de caoutchouc; généralement les deux lames sont autant que possible rendues identiques afin d'avoir une force électromotrice initiale négligeable. Malgré toutes les précautions prises, il est difficile d'arriver à ce résultat, mais laissant les deux lames en court circuit, la force électromotrice initiale se dissipe peu à peu.

Les premières expériences ont été faites en plaçant ces lames dans des cylindres en ébonite portant latéralement une fente de 5 millimètres de largeur; une plaque de verre mastiquée à l'arcanson fermait l'ouverture latérale et permettait d'éclairer la lame en expérience; la difficulté de rendre étanche pour un temps indéterminé ce petit appareil a fait renoncer à son emploi pour des expériences de longues durées; on s'est alors servi de tubes à essais à fond aplati, mastiqués verticalement sur un carton, recouverts extérieurement de noir de fumée fixé au moyen d'une solution alcoolique de gomme laque contenant elle-même en suspension du noir de fumée. On enlève dans le sens des génératrices sur une largeur de 5 millimètres le noir

appliqué afin de laisser la lumière tomber sur la lame en expérience.

Le bouchon de caoutchouc sert à maintenir les lames dans le tube, la lame éclairée protège l'autre contre l'action de la lumière, les surfaces paraffinées ou vernies en regard. Le tube de verre a cinq centimètres de hauteur et la partie sensible de la lame qui, dans le tube, ne plonge pas dans l'électrolyte est recouverte de la substance isolante employée. Une couche de paraffine fixant le bouchon et les lames intercepte toute communication entre l'extérieur et l'intérieur du tube, permettant de garder un temps quelconque une paire de lames en expérience. On a ainsi un actinomètre.

Les sources lumineuses employées ont été le gaz, l'arc électrique et la lumière solaire : les deux dernières exclusivement employées pour former un spectre. Pour chacune de ces sources dans toutes les expériences, on s'efforçait d'avoir toujours le même éclairement.

Le gaz est brûlé dans un bec à couronne en porcelaine, à courant d'air central; une cheminée en laiton remplace le verre, une fenêtre d'un centimètre de largeur et de 6 centimètres de hauteur est ménagée dans le laiton et fermée par une plaque mince de mica. Une lentille de 20 centimètres de foyer projette l'image de la fenêtre sur la lame et l'éclairement estimé sur la plaque vaut environ un Carcel. Un régulateur Giroud à la glycérine assure la constance de la flamme.

La lumière solaire et la lumière électrique ne sont employées que dispersées par un prisme pour étudier l'effet des diverses radiations sur les lames en expérience ; le spectre est étalé sur une longueur de 180 millimètres entre les longueurs d'ondes $\lambda = 0^{\mu},700$ et $\lambda = 0^{\mu},360$. Le tube contenant les lames en expérience est fixé sur une pièce mobile se déplaçant au moyen d'un pignon et d'une crémaillère le long d'une règle divisée. On peut ainsi lui faire occuper différentes parties du spectre correspondant à des longueurs d'onde déterminées.

Avant chaque expérience, pour transformer en longueurs

d'onde les indications lues sur la règle, le spectre très pur est projeté sur cette règle, la fente lumineuse n'ayant qu'une fraction de millimètre de largeur. Dans le cas du soleil, on note sur la règle la position des principales raies, de A (rendue visible par l'interposition d'un verre bleu foncé) à N, qu'un écran fluorescent quelconque permet de distinguer.

Pour la lumière électrique, les raies brillantes, très visibles, caractéristiques de l'arc, servaient de points de repère. On remarque la raie D $\lambda = 0^{\mu},589$ qui apparaît souvent renversée, puis une raie brillante dans le vert $\lambda = 0^{\mu},517$, un groupe de quatre raies dans le violet, la moins réfrangible ayant pour longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},422$, un groupe très brillant dans l'ultra violet, la moins réfrangible a pour longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},388$; enfin un écran fluorescent montre une autre raie de longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},359$[1]. Le spectre de la lumière électrique manque en général de raies brillantes de longueurs d'onde plus grandes que $0^{\mu},580$; on y supplée soit en plaçant dans l'arc du chlorure de thallium, soit en interposant un verre coloré étudié précédemment, c'est à ce dernier moyen que j'ai eu recours comme étant très pratique et suffisamment exact. Le verre dont je me suis servi est un verre bleu foncé, présentant dans le spectre un maximum lumineux à $\lambda = 0^{\mu},697$, et un minimum à $\lambda = 0^{\mu},648$. On peut donc dans tous les cas relier par une construction graphique les longueurs d'onde aux divisions de la règle.

Pour la lumière solaire on s'est également servi dans une série d'expériences d'un réseau métallique concave de Rowland de 3 pieds de longueur focale. On utilisait le premier spectre.

Un obturateur Guerry, placé sur le trajet du rayon lumineux, permet d'éclairer la lame en expérience pendant un temps quelconque. Pour s'assurer de la constance des éléments actinométriques étudiés dans le spectre, on mesure avant et

[1] Ces longueurs d'onde sont prises dans un mémoire de Kayser et Runge (*Wiedm. Ann.*, t. XXXVIII, p. 80).

après l'expérience la force électromotrice développée par la lampe à gaz brûlant dans des conditions identiques.

Les forces électromotrices développées par la lumière sont mesurées soit à un électromètre Lippmann permettant d'estimer le dix-millième de volt, soit à un galvanomètre d'Elliot à quatre bobines, de résistance totale de 25.049 ohms légaux à 17 degrés. Etant donné la faible résistance intérieure (3 à 6 ohms) des éléments actinométriques mis en expérience, on peut se servir d'un tel galvanomètre pour comparer directement des forces électromotrices. Suivant la position de l'aimant directeur, la sensibilité du galvanomètre est telle qu'une division de l'échelle placée à 1 mètre du miroir correspond à une intensité variant de $1^a \times 10^{-9}$ à $4^a \times 10^{-11}$. Un shunt de trois bobines permet de réduire au $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, ou au $\frac{1}{1000}$ l'intensité du courant traversant le galvanomètre.

Au début, dans quelques-unes de ces recherches, chaque fois que l'on shuntait le galvanomètre avec une des bobines, une série d'expériences faites alternativement, pour un éclairement donné, avec le galvanomètre shunté et non shunté, indiquait la modification apportée par le shunt dans la déviation du point lumineux sur l'échelle. Dans la suite, on a toujours employé trois bobines de compensation ayant respectivement 22.544^ω, 24.799^ω et 25.024^ω de résistance afin que l'intensité du courant fourni par l'actinomètre fût toujours la même dans les mêmes conditions, que le galvanomètre fût ou non shunté.

L'expérience consiste à éclairer la lame pendant le temps de l'élongation maximum du point lumineux sur l'échelle et à noter les divisions parcourues; on en déduit la force électromotrice développée. Pour cela, dans chaque série d'expériences, les forces électromotrices sont comparées à celles d'un élément Daniell monté au sulfate de zinc et dont la force électromotrice était déterminée à l'aide de la pile étalon Gouy à l'électromètre Mascart. Cette comparaison se fait en mettant

dans un circuit la pile Daniell, une boîte décade de 100 ohms et une résistance de 10.000 ohms ; le galvanomètre est dérivé sur une résistance de 10 ohms de ce circuit. Au moment où on ferme le circuit dérivé, on note l'élongation du point lumineux sur l'échelle, les n_1 divisions lues correspondent à une force électromotrice de $\frac{\text{F. e. m. Daniell} \times 10}{10.100}$; au moyen d'un commutateur on joint l'actinomètre au galvanomètre isolé auquel on conserve la même sensibilité que pendant l'expérience précédente ; on éclaire l'actinomètre, on note n_2 divisions, élongation du point lumineux ; la force électromotrice correspondante est donnée par

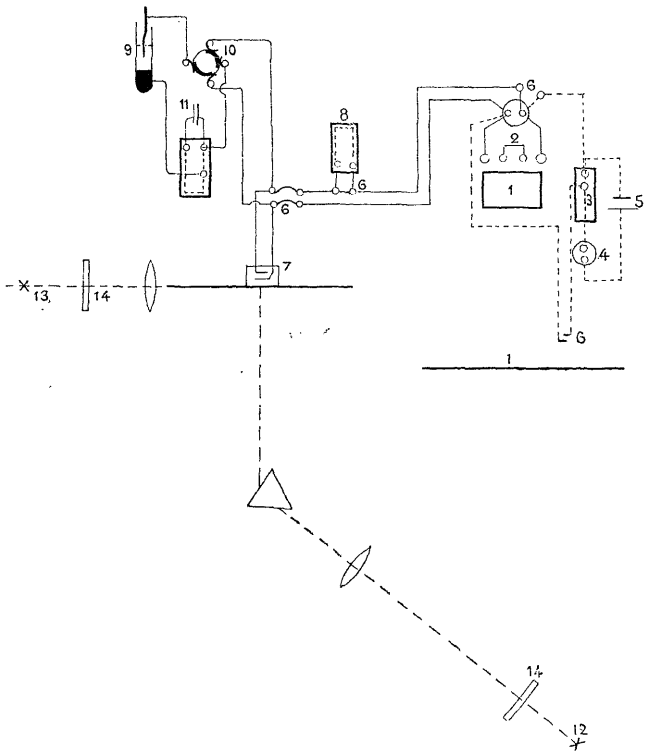
$$x = \frac{n_2 \times \text{F. e. m. Daniell} \times 10}{10.100 \times n_1} = 0^{\text{v}},00107 \frac{n_2}{n_1}$$

pour un élément Daniell de force électromotrice égale à $1^{\text{v}},08$.

La transformation des divisions lues sur l'échelle en force électromotrice se fait très simplement au moyen d'un abaque facile à imaginer en partant de cette formule.

DISPOSITION DES APPAREILS

AYANT SERVI AUXEXPÉRIENCES



Les nos 3, 4, 5 *et le circuit pointillé* servent pour chaque expérience à trouver la force électromotrice correspondant à une certaine déviation du point lumineux, l'aimant directeur ayant une position déterminée.

1. Galvanomètre et son échelle. — 2. Shunt. — 3. Boîte décade de 100 ohms. — 4. Résistance de 10.000 ohms. — 5. Pile Daniell. — 6. Clef, commutateur, interrupteur. — 7. Actinomètre et règle divisée — 8. Résistance de compensation. — 9. Electromètre Lippmann. — 10. Commutateur inverseur. — 11. Pile et boîte de résistances pour f. e. m. de compensation. — 12. Arc électrique — 13. Gaz. — 14. Obturateur.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DES ACTINOMÈTRES EN LUMIÈRE BLANCHE

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ

Pour former les actinomètres à lames de cuivre oxydé, on a eu recours au cuivre électrolytique comme pour tous les actinomètres basés sur l'emploi des composés du cuivre.

Une lame de cuivre est bien décapée et polie au papier d'émeri; on la place sur une plaque de cuivre de 1 à 2 millimètres d'épaisseur, chauffé au moyen d'un bec Bunsen. La plaque-support protège la lame de l'action directe de la flamme. On examine sous une incidence de 45 degrés la lumière du jour ou une lumière artificielle réfléchie par la lame en expérience et on voit très nettement apparaître successivement les diverses colorations dues à la couche mince d'oxyde; on peut, avec un peu de précaution, espacer suffisamment l'apparition des diverses couleurs pour être jusqu'à un certain point maître de l'épaisseur de la couche formée. Lorsque le degré d'oxydation cherché est atteint, on place vivement la lame sur un bloc métallique, elle se refroidit de suite et l'oxydation s'arrête.

L'actinomètre peut être formé de deux lames de cuivre oxydé ou d'une lame de cuivre décapé et d'une seule lame de cuivre oxydé, plongeant dans un liquide conducteur; dans le premier cas, on n'a dans l'obscurité qu'une force électromotrice initiale très faible, la lame la plus oxydée étant positive par rapport à l'autre; dans le second cas, on a une force électromotrice initiale assez considérable, la lame oxydée étant positive; mais,

dans les deux cas, l'influence de la lumière a sensiblement la même valeur. Pour l'élément oxyde de cuivre — oxyde de cuivre, elle donne naissance à une certaine force électromotrice, la lame éclairée devenant positive; pour l'élément oxyde de cuivre — cuivre, la lumière augmente de la même quantité la force électromotrice initiale.

Ainsi, un actinomètre est formé de deux lames de cuivre oxydé n° 1 et n° 2; on éclaire successivement ces deux lames, l'autre étant dans l'obscurité.

La lame n° 1 éclairée, on a	. . . . .	37×10^{-5} volt
— n° 2 —	. . . . .	9 —

On forme alors deux actinomètres avec chacune de ces lames et une lame de cuivre décapé; en éclairant la lame de cuivre oxydé on a :

Pour l'élément oxyde de cuivre n° 1 — cuivre	.	35×10^{-5} volt
— — n° 2 — cuivre	.	9 —

L'électrolyte étant le même dans les deux cas.

La force électromotrice développée par l'action de la lumière dépend du degré d'oxydation de la lame éclairée. On a formé successivement un actinomètre d'une même lame de cuivre et d'autres lames différemment oxydées, définies par les couleurs observées lors de l'oxydation; toutes les autres conditions étant égales, on a obtenu :

Degré d'oxydation	Force électromotrice développée.
jaune paille	5×10^{-5} volt
premier violet	7
deuxième violet	118
troisième violet	194
oxydation plus avancée	194
noirâtre	7

En poussant plus loin l'oxydation de la plaque, l'oxyde se détache en plongeant la lame dans le liquide de l'actinomètre.

Le choix de l'électrolyte influe sur la valeur de la force électromotrice observée. Un même élément formé de deux lames de cuivre oxydé a été successivement placé dans des solutions contenant 1 pour 100 de différents sels et essayés dans les mêmes conditions d'éclairement. C'est à la solution de SO^4K^2 qu'on a eu recours pour constater que l'élément, dans ces diverses recherches, était toujours comparable à lui-même, c'est-à-dire qu'après chaque essai l'élément était lavé à l'eau distillée et plongé dans ladite solution, la force électromotrice mesurée était alors trouvée toujours très sensiblement la même. On peut donc admettre que la couche sensible était au même état avant et après les expériences.

Les solutions sur lesquelles les recherches ont porté sont les suivantes :

SO^4K^2, SO^4Mg, $SO^4(AzH^4)^2$, SO^4Cu, PhO^4Na^2H, AzO^3Na, NaI, NaBr, NaCl, KI, KBr, $C^2H^3NaO^2$, $C^2K^2O^4$.

En éclairant un actinomètre de minute en minute, on ne retrouve la même force électromotrice qu'après plusieurs expériences successives. Dans toutes ces recherches, on a comparé les forces électromotrices seulement lorsqu'elles demeurent constantes, ce qui arrive en général au bout de quelques minutes, sauf pour les iodures ou les bromures alcalins qui nécessitent une quinzaine d'observations, par conséquent un quart d'heure environ avant de donner des résultats identiques. Les forces électromotrices décroissent d'abord avant de devenir constantes.

Prenant pour unité la force électromotrice dans la solution de SO^4K^2, on a les résultats suivants :

SO^4Mg	1,7	NaBr	2
$SO^4(AzH^4)^2$	2,2	NaCl	1,4
SO^4Cu	0,6	KI	5,5
PhO^4Na^2H	1	KBr	2,4
AzO^3Na	0,7	$C^2H^3NaO^4$	3,1
NaI	3,4	$C^2K^2O^4$	2,3

Dans les conditions d'oxydation des lames employées, la force électromotrice développée par le bec de gaz est d'environ 80×10^{-5} volt, l'électrolyte étant SO^4K^2.

Pour un électrolyte donné, la concentration de la solution influe sur la valeur de la force électromotrice développée par un même éclairement ; tantôt la force électromotrice croît d'abord en même temps que la concentration, en devient ensuite indépendante et par conséquent sensiblement constante (SO^4K^2, NaCl), tantôt la force électromotrice décroît à mesure que la concentration augmente (NaI).

On a fait varier la concentration de 0 à 10 o/o, des solutions de SO^4K^2, NaCl et NaI ; on a observé les résultats suivants :

SO^4K^2		NaCl		NaI	
pour 100	10^{-5}v.	pour 100	10^{-5}v.	pour 100	10^{-5}v.
—	—	—	—	—	—
0,5	32	1	59	0,5	122
1	37	2,5	64	5	58
2	52	5	104	10	26
5	94	7,5	88		
7	106	10	80		
10	107				

Une augmentation de température diminue la force électromotrice correspondant à un éclairement donné.

Pour connaître exactement la température à laquelle se trouve l'actinomètre, un thermomètre est placé dans l'électrolyte entre la lame éclairée et la lame maintenue dans l'obscurité ; l'élément ainsi constitué est mis dans l'axe d'un cylindre de verre de 6 centimètres de diamètre, le tout mastiqué à l'arcanson sur un bouchon de liège ; dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes, on verse de l'eau chaude, le thermomètre plongé dans l'électrolyte indique une température croissant lentement et, avant de décroître, demeurant stationnaire un certain temps ; c'est alors qu'on éclaire la lame, l'absorption par la couche d'eau traversée par le rayon lumineux étant la même dans tous les cas, les résultats sont comparables.

Les expériences ont porté sur les solutions de NaCl, SO^4Mg et SO^4K^2, on a obtenu les résultats suivants :

NaCl		SO^4Mg		SO^4K^2	
t^0	$10^{-5}v$.	t^0	$10^{-5}v$.	t^0	$10^{-5}v$.
13°,6	80	19°,2	21	18°,8	14
19	71	41	3	22	11
23	68			29,6	8
28	58			40,8	3
41	45				

Il est intéressant de savoir comment la force électromotrice varie avec l'éclairement.

La question a été résolue en recherchant si, pour une lame de surface éclairée constante, la force électromotrice est inversement proportionnelle au carré de la distance de la lame à la source. L'expérience a été faite avec la lumière Drummond; la pression du gaz étant maintenue constante pendant la durée de l'expérience, on admettait que l'intensité lumineuse ne variait pas d'une manière sensible pendant les essais ; le chalumeau, mobile sur un chariot le long d'une règle divisée était éloigné à distances connues de l'appareil. Etant donné l'éloignement de la source lumineuse, on pouvait la considérer comme un point éclairant et appliquer la loi du carré de la distance pour estimer l'intensité lumineuse sur la lame exposée.

Le tableau suivant donne les résultats d'une série d'expériences.

Dans la première colonne se trouvent les distances de la source lumineuse à la lame éclairée, la deuxième donne le carré des distances, $0^m,20$, première distance, étant pris pour unité, la troisième indique les forces électromotrices observées et la quatrième le produit de la force électromotrice par le carré de la distance.

d	d^2	e	ed^2
—	—	—	—
$0^m,20$	1	142×10^{-5}	142
25	1,56	87	136
30	2,25	61	136
35	3,06	45	138
40	4	37	148
45	5,06	29	147
50	6,25	24	150
60	9	16	144
70	12,25	12	147
80	16	9	144

Le produit ad^2 étant sensiblement constant, on peut admettre que, dans les circonstances de l'expérience, la force électromotrice développée est proportionnelle à l'intensité lumineuse, mais seulement dans les circonstances de l'expérience, c'est-à-dire en lumière peu intense, car si au moyen d'un héliostat on envoie la lumière solaire en interposant sur le trajet deux nicols montés sur des cercles gradués afin de pouvoir mesurer l'angle de leurs sections principales et que l'on fasse varier cet angle de 0^0 à 90 degrés, l'éclairement de la lame variant de 1 à 0 degré, la loi ne se vérifie plus et l'intensité lumineuse croît plus vite que la force électromotrice.

LAMES DE CUIVRE SULFURÉ

On prépare ces lames en se servant comme pôle positif d'électrode en cuivre pour décomposer par un courant de deux ou trois dixièmes d'ampère une solution de sulfure de sodium du commerce moyennement concentrée ; le sulfure n'est adhérent que si le courant n'a qu'une faible intensité ; une minute suffit pour avoir une couche d'un aspect noir mat et donner une lame sensible à l'action de la lumière.

Dans un actinomètre formé de deux lames de cuivre sulfuré

et l'électrolyte étant une solution de chlorure de sodium au $\frac{1}{100}$, la lame éclairée est positive par rapport à l'autre, le gaz développant une force électromotrice d'environ 40×10^{-5} volt.

Etant donné le pouvoir absorbant du sulfure de cuivre, on pouvait supposer que les effets observés étaient dus à des courants thermoélectriques, mais si on chauffe l'une des lames par rapport à l'autre, on constate que la lame chauffée est négative, par conséquent pour une même lame la force électromotrice change de sens suivant que cette lame est éclairée ou chauffée.

Les lames sulfurées et séchées peuvent être conservées très longtemps à l'air sans aucune précaution; de telles lames ont servi un mois après leur préparation à monter un actinomètre et la force électromotrice développée par la lampe à gaz a été de 32×10^{-5} volt, comparable à la force électromotrice développée dans un actinomètre monté aussitôt après la préparation des lames.

LAMES DE CUIVRE FLUORURÉ

Les lames de cuivre bien décapé sont exposées à l'action de l'acide fluorhydrique gazeux en les suspendant de vingt à trente minutes dans un flacon en gutta au fond duquel se trouve une solution concentrée d'acide fluorhydrique ; en retirant les lames elles présentent un aspect blanchâtre, mais noircissent peu à peu à la lumière diffuse. On construit un actinomètre en plongeant ces lames dans la solution choisie. Avec la lumière du gaz, l'électrolyte étant une solution au $\frac{1}{100}$ de SO^4K^2, on a une force électromotrice, naturellement variable d'un élément à l'autre, mais en général inférieure à 30×10^{-5}v ; l'actinomètre n'a pas immédiatement sous l'action de la lumière la force électromotrice qu'il aura dans la suite, ce n'est guère que vingt-quatre

heures après avoir été préparé, étant conservé dans l'obscurité, que les résultats sont constants. La lame éclairée est positive par rapport à l'autre.

On a, comme pour les lames oxydées, essayé différents électrolytes avec le même éclairement. Prenant comme unité la force électromotrice de l'actinomètre lorsque l'électrolyte est une solution de SO^4K^2 on a, en variant les solutions, les rapports suivants :

SO^4Mg	2,7	NaCl.	1,6
NaBr	1,5	NaI	1,2

LAMES DE CUIVRE CHLORURÉ

Les lames de cuivre peuvent être recouvertes de chlorure de cuivre sensible à l'action de la lumière par plusieurs procédés. On peut faire agir sur une lame parfaitement décapée l'acide chlorhydrique gazeux, pendant un temps suffisamment long à la température ordinaire, ou décomposer une solution de chlorure alcalin avec un courant d'intensité convenable ou enfin s'adresser à l'électrolyse d'une solution [1] dans l'acide chlorhydrique du chlorure cuivreux préparé par l'eau régale. Les lames étudiées ont été préparées par ces deux derniers procédés. L'intensité du courant employé est de $0^a,4$ à $0^a,5$ et la durée de l'électrolyse de deux à trois minutes. Les lames ainsi préparées sont lavées à l'alcool et séchées rapidement. Elles sont recouvertes d'une couche blanchâtre, noircissant rapidement à la lumière diffuse et en quelques minutes au soleil.

Quand on prépare les lames en décomposant une solution à demi saturée de chlorure de sodium, la lame éclairée est positive par rapport à l'autre ; l'effet peu sensible en expérimentant l'actinomètre immédiatement après la préparation, 4 à

[1] Bœttger, *Jour. prakt. Chem.* [2], t. II, p. 135.

6×10^{-5} v., devient plus marqué dans la suite ; vingt-quatre heures après, la force électromotrice atteint 30×10^{-5} v., l'électrolyte employé étant une solution de SO^4K^2 au $\frac{1}{100}$.

Dans les mêmes conditions, pour les lames préparées par l'électrolyse d'une solution de chlorure cuivreux, les effets observés ne sont pas constants : tantôt aucune force électromotrice n'est développée, tantôt on observe une déviation du point lumineux sur l'échelle du galvanomètre et la force électromotrice atteint jusqu'à 175×10^{-5} v., mais au bout d'un certain temps tous les éléments se montrent sensibles à l'action de la lumière, la lame éclairée étant négative par rapport à l'autre.

Dix éléments ont été préparés le 21 janvier 1896 en se plaçant dans des conditions aussi identiques que possible, les deux lames étaient chlorurées attachées ensemble au pôle positif de la pile ; les actinomètres ainsi formés, SO^4K^2 étant l'électrolyte, ont été essayés de suite, puis conservés dans l'obscurité et essayés de nouveau à diverses époques ; le tableau suivant montre que, surtout au début, les résultats obtenus ont été très variables d'un actinomètre à l'autre et la force électromotrice que développe un éclairement donné croît pour tous les actinomètres avec le temps.

Forces électromotrices en 10^{-5}v.

Actinomètres	21 janvier 1896	14 mars	25 janvier 1897
—	—	—	—
1	175	430	790
2	72	156	560
2	41	95	410
4	41	206	508
5	0	13	»
6	0	95	»
7	0	50	165
8	0	72	»
9	143	150	»
10	0	37	67

LAMES DE CUIVRE BROMURÉ

Les lames bromurées sensibles à l'action de la lumière se préparent en électrolysant une solution de bromure alcalin, les lames de cuivre formant le pôle positif, ou encore en immergeant ces lames dans l'eau bromée pendant quinze à vingt minutes. Les lames préparées par l'un ou l'autre de ces procédés, lavées rapidement à l'eau distillée puis à l'alcool et séchées, présentent un aspect blanchâtre ; à la lumière du jour, elles noircissent peu à peu.

Dans un actinomètre formé avec des lames préparées par le premier procédé, la lame éclairée est constamment positive, le gaz développe immédiatement une faible force électromotrice croissant peu à peu avec le temps.

Si l'on a recours à l'eau bromée pour rendre sensibles les lames de cuivre, les effets, au début, comme pour les lames chlorurées ne sont nullement constants, non seulement les forces électromotrices développées par un éclairement n'ont pas la même valeur, mais encore le signe de la force électromotrice change d'un élément à l'autre, quelques précautions qu'on ait prises pour préparer des éléments aussi identiques que possible ; au bout d'un certain temps le signe de la force électromotrice est constant, la lame éclairée devenant négative par rapport à l'autre.

Ainsi cinq actinomètres préparés en même temps, de la même manière ont donné les résultats suivants :

Les forces électromotrices sont évaluées en 10^{-5}v.

Actinomètres	6 janvier 1896	7 mars 1896	28 janvier 1897
—	—	—	—
1	— 23	— 46	»
2	— 52	— 300	»
3	+ 230	— 230	— 2050
4	+ 76	— 152	»
5	— 66	— 320	»

Les lames plongeaient dans une solution au $\frac{1}{100}$ de sulfate de potassium.

On voit encore que, dans ce cas, la force électromotrice que développe un éclairement donné croît en général avec le temps.

LAMES DE CUIVRE IODURÉ

Les lames de cuivre ont été recouvertes sur l'une de leurs faces d'une couche d'iodure de cuivre en électrolysant pendant deux à trois minutes une solution d'iodure de potassium à 20 pour 100, l'intensité du courant étant environ $0^a,2$. Lavées à l'eau distillée puis à l'alcool et séchées, ces lames présentent un aspect blanc jaunâtre noircissant lentement à la lumière du jour et même exposées au soleil. On a préparé également des lames sensibles en les plongeant pendant quelques minutes dans une solution alcoolique d'iode. L'effet produit par la lumière est le même dans les deux cas : la lame éclairée est toujours positive par rapport à l'autre. Les résultats observés sont beaucoup plus concordants que dans le cas des lames chlorurées ou bromurées, et l'élément présente, immédiatement après sa préparation, une grande sensibilité. La force électromotrice due à l'action de la lumière, croît pendant un certain temps au début des expériences pour devenir ensuite constante pour un éclairement donné. Le fait est mis en évidence par le tableau suivant d'une série d'expériences faites en éclairant l'actinomètre de minute en minute.

La force électromotrice est exprimée en 10^{-5}v.

temps	f. e. m.	temps	f. e. m.	temps	f. e. m.
—	—	—	—	—	—
0^m	372	10^m	700	20^m	»
1	447	11	715	21	852
2	495	12	730	22	868
3	535	13	740	23	870
4	565	14	750	24	874
5	598	15	760	25	880
6	625	16	»	26	892
7	644	17	785	27	900
8	670	18	802	28	900
9	689	19	820	29	900
10	700	20	»	30	900

Avant de faire une série d'expériences et pour rendre les résultats comparables, il faudra donc éclairer un certain temps les lames avec la source en expérience. Ce fait n'a lieu ni pour les lames de cuivre chloruré, ni pour les lames de cuivre bromuré.

On a essayé, comme électrolyte, des solutions au $\frac{1}{100}$ de NaCl, SO^4K^2, SO^4Mg $(AzO^3)^2Ba$, la lame éclairée est toujours positive et la force électromotrice développée par l'éclairement employé est toujours voisine de 100×10^{-5} volt. Il n'en est pas de même si l'on emploie une solution de $CuSO^4$, la force électromotrice est encore positive dans les mêmes conditions, mais environ trente fois moins considérable. Naturellement si le liquide réagit sur l'iodure de cuivre, les résultats changent avec le temps ; ainsi la même paire de lames ayant servi dans les expériences précédentes a été placée dans une solution de carbonate de sodium et immédiatement mise en expérience, on retrouve des résultats identiques à ceux fournis par une solution de SO^4K^2, mais les lames étant alors laissées dans leur nouvel électrolyte pendant quarante-huit heures, on constate que la lumière rend négative la lame qui précédemment était positive dans les mêmes circonstances; de plus la force électro-

motrice est plus faible : la nature de la couche sensible a donc changé entre les deux expériences.

LAMES D'ÉTAIN OXYDÉ

Les lames d'étain oxydé, sensibles à la lumière, ont été étudiées par G. M. Minchin[1] qui en a donné la préparation détaillée. C'est sa méthode qui a été suivie point par point ; la voici résumée :

Les lames polies sont traitées successivement par une solution de soude caustique puis d'acide chlorhydrique dilué jusqu'à ce que la surface présente une apparence brillante et cristalline. On lave à l'eau distillée puis on immerge la lame pendant trois à quatre minutes dans le mélange suivant :

Eau distillée	500 cm^3
Acide citrique	3 grammes.
Azotate d'ammonium	15 —

On place ensuite la lame sur une plaque de terre chauffée avec un bec Bunsen, la surface de la lame prend successivement un aspect gris ardoise, blanchâtre, puis verdâtre et blanc mat. On enlève la lame quand elle passe par l'avant-dernière teinte et on la refroidit brusquement en la plaçant sur un bloc métallique.

Une plaque ainsi préparée est, à l'exposition à la lumière, positive par rapport à l'autre. L'électrolyte étant une solution de SO^4K^2, le gaz développe une force électromotrice d'environ 70×10^{-5} volt.

[1] *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXXI, p. 207, 1891.

LAMES D'ÉTAIN SULFURÉ

On prépare les lames sensibles en plongeant des lames d'étain pendant trois à quatre minutes dans le gaz acide chlorhydrique, puis en les suspendant dans une atmosphère d'acide sulfhydrique. L'acide chlorhydrique était obtenu à température ordinaire par l'action de SO^4H^2 tombant goutte à goutte dans une dissolution d'acide chlorhydrique, le gaz était desséché par du chlorure de calcium ; pour sulfurer ensuite les lames on se contentait de les suspendre dans un flacon à moitié plein d'une dissolution d'acide sulfhydrique pendant quelques minutes seulement ; la surface des lames devient uniformément brune.

La lumière, tombant sur l'une des lames, la rend positive par rapport à l'autre. Avec un bec de gaz, une solution au $\frac{1}{100}$ de chlorure de sodium étant prise comme électrolyte, on obtient une force électromotrice d'environ 150×10^{-5} volt.

LAMES D'ARGENT SULFURÉ

Les lames d'argent sulfuré sont préparées comme l'indiquent MM. G. Chaperon et Mercadier[1], par électrolyse du sulfure de sodium par un courant de quelques dixièmes d'ampère pendant deux à trois minutes. Les solutions au $\frac{1}{100}$ employées ont été assez nombreuses, la lame éclairée s'est toujours montrée négative par rapport à l'autre et pour un éclairement

[1] *Comptes rendus*, t. CVI, p. 1595, 1888.

donné la force électromotrice variable avec l'électrolyte. Ce n'est qu'au bout d'un certain temps qu'un tel actinomètre a, dans les mêmes conditions, une force électromotrice constante. Ainsi un actinomètre formé de deux lames d'argent sulfuré plongeant dans une solution d'azotate d'argent a donné au début à la lumière du gaz 49×10^{-5} volt, une demi-heure après 75, et le lendemain 118, force électromotrice qu'on retrouve les jours suivants.

L'étude faite plus loin de l'action des diverses radiations lumineuses sur un tel actinomètre a montré que ce sont surtout les rayons infra-rouges qui sont actifs. On a recherché si l'on ne se trouvait pas ici en présence de phénomènes thermoélectriques, les forces électromotrices développées par la chaleur entre un métal et un liquide étant assez considérables pour une faible élévation de température.

L'actinomètre a été modifié de la façon suivante : deux lames d'argent sulfuré plongent chacune dans une branche d'un tube en verre recourbé contenant une solution d'azotate d'argent ou de chlorure de sodium ; l'une des branches du tube est entourée d'un manchon de verre ; on peut, en remplissant d'eau chaude l'espace annulaire, établir entre les deux lames une différence de température connue par des thermomètres plongeant dans chaque branche du tube ; d'autre part, dans le tube même, la lame destinée à être chauffée peut être éclairée au moyen d'un bec de gaz. On mesure les forces électromotrices développées soit par la différence de température, soit par la lumière.

L'électrolyte étant une solution d'azotate d'argent, la lumière développe une force électromotrice négative de 250×10^{-5} volt. Chauffant comme il a été dit, l'une des lames par rapport à l'autre, on a les résultats suivants :

$t - t'$ est la différence de température entre les deux lames.

$t-t'$	f.e.m.
11°,5	500×10^{-5}v
9,6	450
7,7	250
5,2	200
3,8	120
2,2	90
0,9	70

Si l'électrolyte est une solution de chlorure de sodium, sous l'influence de la lumière on a une force électromotrice négative égale à 280×10^{-5}, tandis qu'une différence de température entre les deux lames donne une force électromotrice positive :

$t-t'$	f.e.m.
11,°	520×10^{-5}
8°,4	80
7°,4	50
4°	30

On constate que la lumière produit instantanément une force électromotrice de 2 à 3 millièmes de volt; d'autre part, en chauffant, il faut établir entre les deux lames une différence de température de 7 à 8 degrés pour développer la même force électromotrice négative dans l'azotate d'argent et positive dans le chlorure de sodium.

En prenant comme électrolyte des solutions étendues de NaBr, NaI, KBr, KI, K^2SO^4, $MgSO^4$, Ag^2SO^4, $C^2H^3AgO^2$, on trouve que la lame chauffée est négative seulement dans les solutions de sels d'argent et positive dans les solutions des autres sels essayés, tandis que, éclairée, cette lame est négative dans toutes les solutions.

Les deux séries d'expériences ne sont pas assurément identiques, mais je crois qu'elles ont suffisamment de points communs pour que, étant donné la différence de température nécessaire pour développer une force électromotrice de 2 à 3 millièmes de volt, il soit difficile d'admettre que l'action des rayons infrarouges ne soit qu'une action calorifique.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE DES ACTINOMÈTRES DANS LE SPECTRE

L'étude des lames sensibles dans les radiations de diverses longueurs d'onde a un grand intérêt parce qu'elle permet de différencier nettement les lames les unes des autres au double point de vue et des régions du spectre qui les affectent plus spécialement et, par conséquent, des applications possibles pour un actinomètre formé de lames données.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ

Un premier résultat qu'on observe, c'est que la position du maximum de sensibilité ne dépend pas du degré d'oxydation de la lame ; que la lame paraisse rouge brique ou brun foncé, couleurs correspondant à deux états très différents d'oxydation, le maximum sera toujours dans le spectre vers la longueur d'onde $0^{\mu},472$, seulement la valeur du maximum variera, rappelant les variations de force électromotrice observées avec les mêmes lames en lumière blanche.

Si, pour un élément donné, on fait varier l'électrolyte, le maximum de sensibilité se maintient toujours dans les mêmes régions du spectre, à quelques longueurs d'ondes près, sans pouvoir affirmer qu'il se trouve ou non exactement à la même longueur d'onde, étant donné la largeur des lames et les petites variations inévitables de l'arc électrique.

Le tableau et les courbes ci-après résument les recherches

faites avec le même élément en se servant comme liquide de solutions au $\frac{1}{100}$ de NaI, NaBr, NaCl et SO^4K^2. On retrouve, en passant d'un électrolyte à l'autre, les variations de sensibilité déjà observées en lumière blanche ; la sensibilité va en décroissant de l'iodure de sodium au sulfate de potassium.

On voit que la sensibilité croît brusquement vers $\lambda = 0^{\mu},630$ et se maintient jusque vers $\lambda = 0^{\mu},400$, passant par un maximum vers la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},472$.

L'accroissement brusque de force électromotrice à la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},388$ est particulier à l'arc électrique ; un groupe de quatre raies très brillantes dues au cyanogène, d'après Kayser et Runge [1], existe dans cette région. Chaque fois que l'on étudiera un actinomètre dans le spectre de l'arc électrique, on trouvera un minimum vers $\lambda = 0^{\mu},397$ et à $\lambda = 0^{\mu},388$ un accroissement plus ou moins grand de force électromotrice, suivant la sensibilité des lames étudiées pour les rayons de cette réfrangibilité.

LAMES DE CUIVRE SULFURÉ

L'actinomètre, formé avec des lames de cuivre sulfuré, est surtout affecté par les radiations comprises entre les longueurs d'onde $\lambda = 0^{\mu},630$ et $\lambda = 0^{\mu},390$ avec un maximum de sensibilité vers $\lambda = 0^{\mu},464$. La courbe ci-jointe a été obtenue au moyen du soleil.

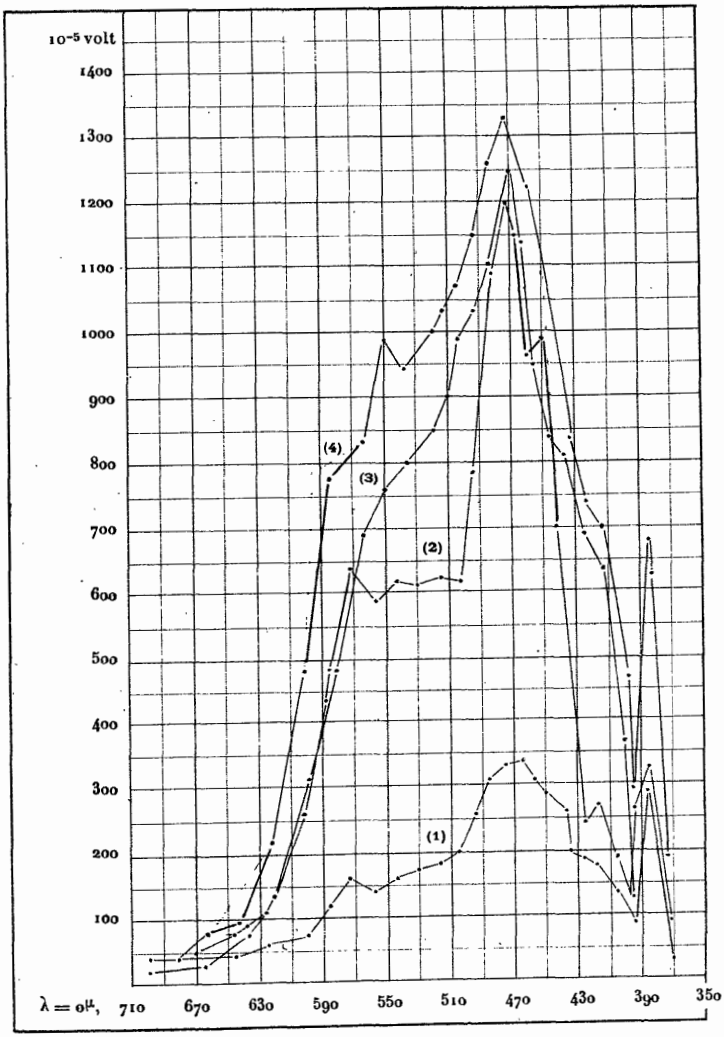
Les lames plongeaient dans une solution au $\frac{1}{100}$ de NaCl.

[1] *Wied. Ann*, t. XXXVIII, p. 80.

CUIVRE OXYDÉ

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotrices en 10^{-5} volt			
	(1) SO^4K^2	(2) NaCl	(3) NaBr	(4) NaI
0μ,700	40	48	26	44
663	46	58	32	65
638	52	80	64	78
620	59	120	132	210
601	80	300	310	487
583	131	472	480	778
565	150	604	694	830
550	150	600	756	980
537	160	613	790	940
524	170	616	850	1000
512	184	624	512	1030
502	211	656	990	1070
492	270	690	1030	1150
482	314	1124	1100	1260
472	338	1194	1260	1320
464	337	1120	1140	1220
456	301	968	950	1120
448	290	880	840	960
440	231	664	810	840
426	193	360	680	740
413	160	212	640	700
402	104	132	370	460
393	80	130	368	260
388	227	330	»	680
385	220	280	»	620
378	90	60	»	180

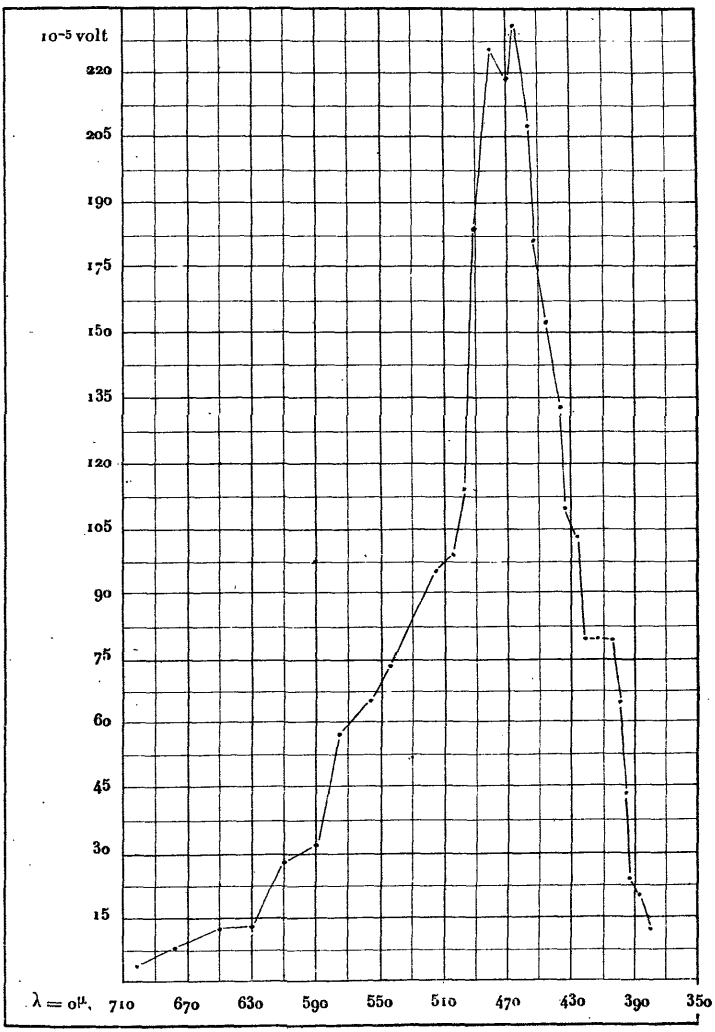
CUIVRE OXYDÉ



CUIVRE SULFURÉ

LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt	LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt
0μ,700	5	0μ,458	207
675	7	451	181
650	11	446	153
630	12	440	132
610	28	434	110
591	32	428	101
576	56	422	80
560	66	416	80
544	74	410	80
519	95	405	63
509	99	400	64
498	114	396	43
489	183	392	23
480	226	388	20
472	218	384	15
464	232	380	13

CUIVRE SULFURÉ



LAMES DE CUIVRE FLUORURÉ

Les lames de cuivre exposées au gaz HFl sont plus spécialement sensibles pour deux régions du spectre. En traçant la courbe des forces électromotrices pour les diverses radiations, on remarque un premier maximum à $\lambda = 0^{\mu},524$, puis à partir de $\lambda = 0^{\mu},430$ la force électromotrice s'accroît très brusquement et on voit que l'actinomètre est très sensible pour les radiations violettes et plus encore pour les ultra-violettes puisque la force électromotrice correspondant à la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},388$ est plus forte que celle correspondant à $\lambda = 0^{\mu},408$, ce qu'on ne trouve pour aucun autre des composés du cuivre qui ont été étudiés. On verra dans la suite le parti qu'on peut tirer de cette propriété dans les applications photométriques.

LAMES DE CUIVRE CHLORURÉ

L'étude dans le spectre d'un actinomètre formé de lames recouvertes de chlorure de cuivre par électrolyse d'une solution acide de chlorure cuivreux permet de suivre les transformations successives que présentent les lames avec le temps, transformations signalées dans l'étude en lumière blanche.

Un actinomètre convenablement mastiqué pour éviter toute évaporation de la solution de SO^4K^2, bouillie dans le tube même, dans laquelle les lames plongent, a été mis de temps en temps en expérience dans les mêmes conditions pendant plus d'une année. Essayé le lendemain de sa préparation, la lame éclairée s'est montrée constamment positive ; la force électromotrice développée, très faible dans toutes les régions du spectre, atteint dans le violet une valeur maximum de

16×10^{-5}v; 24 heures après, le phénomène devient très complexe : de $\lambda = 0^{\mu},740$ à $\lambda = 0^{\mu},630$, la lame reste constamment positive, puis à partir de cette longueur d'onde, au moment où on éclaire la lame, elle devient négative d'abord puis brusquement positive; quand le point lumineux s'arrête sur l'échelle du galvanomètre, on supprime l'éclairement et au même moment la force électromotrice développée s'accroît encore en conservant son signe : l'effet est instantané; puis le point lumineux revient à sa position initiale.

Ainsi, à la longueur d'onde $0^{\mu},460$, on observe successivement les diverses positions suivantes du point lumineux sur l'échelle; avant l'expérience le point est au zéro.

L'actinomètre étant éclairé on a d'abord 30 div. à gauche, lame négative. Puis 57 à droite, lame positive. On supprime l'éclairement, on a en plus 15 à droite, lame positive. Ensuite le point lumineux revient à zéro. Par conséquent sous l'influence de la lumière, la lame est devenue d'abord négative, puis positive, et la suppression de la lumière augmente pendant un temps très court la force électromotrice avant que celle-ci ne retombe à zéro.

Ce changement de signe de force électromotrice n'est pas particulier aux lames de cuivre chloruré, on le constate pour d'autres composés du cuivre; il a été également signalé par Minchin[1] pour des composés d'argent et d'étain, et par Hankel[2] pour le cuivre oxydé.

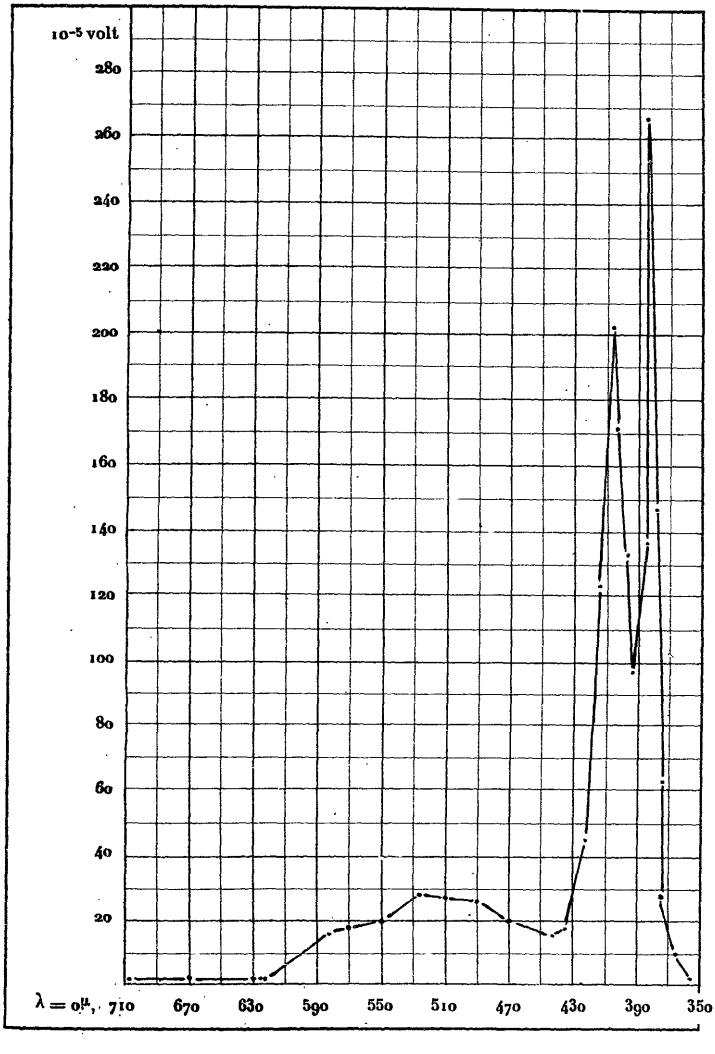
Deux jours après l'actinomètre essayé à nouveau indique que la lame éclairée est positive jusqu'à la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},630$, puis devient et reste négative pour toutes les longueurs d'onde plus petites. Le lendemain et dans toutes les autres expériences qui suivront, la lame éclairée sera toujours négative, la force électromotrice conservera son signe dans toutes les régions du spectre, le seul changement à enregistrer

[1] Minchin, *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXXI, p. 211, 1891.
[2] Hankel, *Wied. Ann.*, t. I, p. 402, 1877.

CUIVRE FLUORURÉ

LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt	LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt
0μ,740	1	0μ,408	201
675	1	403	171
624	2	398	134
587	14	392	95
555	20	388	135
526	29	383	266
502	26	380	146
483	26	375	62
466	20	372	27
449	16	365	10
434	16	358	2
421	45	»	»
414	122	»	»

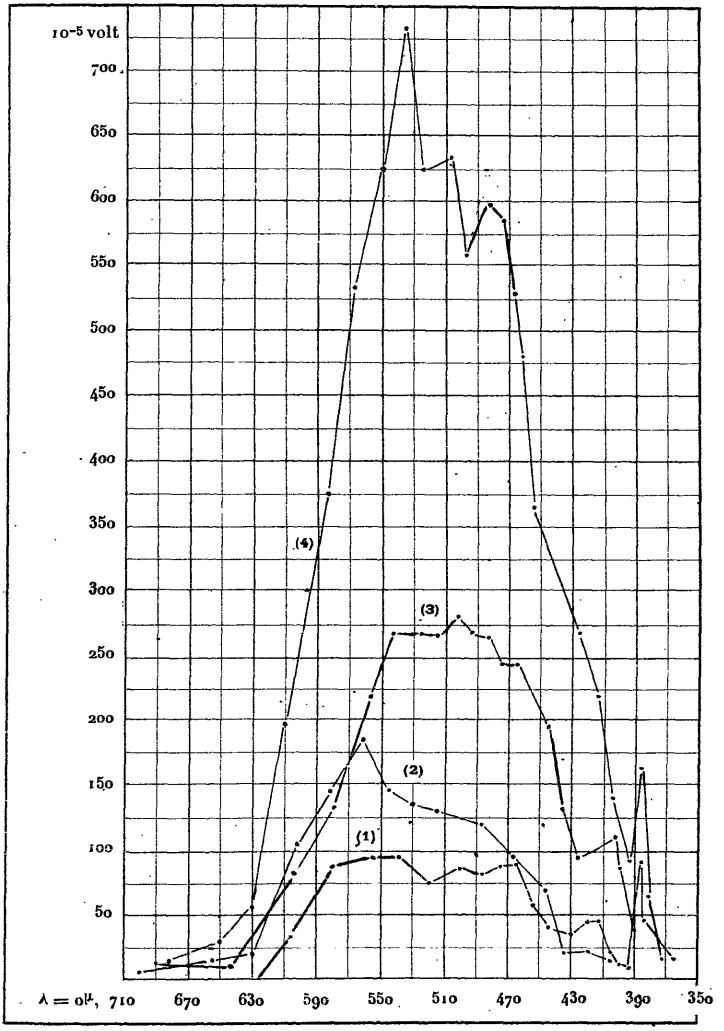
CUIVRE FLUORURÉ



CUIVRE CHLORURÉ

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotrices en 10^{-5} volt			
	(1) 22 juillet 1895	(2) 24 sept. 1895	(3) 30 nov. 1895	(4) 1er octob. 1896
0μ,700	»	»	9	»
690	»	4	8	»
680	»	4	9	20
650	»	10	12	28
630	»	18	60	54
606	40	80	85	197
586	76	140	130	376
567	93	180	195	533
551	96	161	252	621
535	96	137	270	732
522	80	130	269	624
508	82	127	273	634
498	84	124	278	558
488	82	124	269	604
475	88	110	252	584
467	90	108	247	530
458	77	99	238	476
442	42	50	170	364
428	35	22	110	266
416	44	21	108	222
404	19	15	95	140
394	10	»	50	86
388	90	»	37	172
378	15	»	65	64
370	5	»	15	12

CUIVRE CHLORURÉ



sera, avec le temps, un accroissement continu de la force électromotrice pour un même éclairement et par conséquent une augmentation de sensibilité de l'actinomètre.

L'actinomètre est sensible pour toutes les longueurs d'ondes comprises entre $\lambda = 0^{\mu},630$ et $\lambda = 0^{\mu},400$ et présente un maximun vers la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},540$.

Les quatre courbes ci-après résument les résultats d'expériences faites avec le même actinomètre dans les mêmes conditions à des époques différentes.

LAMES DE CUIVRE BROMURÉ

La non-concordance des résultats obtenus en lumière blanche quand on soumet à l'expérience un actinomètre dont les lames viennent d'être préparées par immersion dans l'eau bromée est en partie expliquée par l'effet produit par chaque radiation lumineuse sur un tel actinomètre. On constate en effet qu'en général le signe de la force électromotrice change quand on passe des radiations les moins réfrangibles aux radiations les plus réfrangibles : de telle sorte qu'une lame négative pour les radiations rouges devient positive pour les radiations violettes ; pour une certaine longueur d'onde la force électromotrice s'annule, et la plupart du temps pour les longueurs d'onde voisines de celle pour laquelle la force électromotrice change de signe, on observe ces sauts brusques de force électromotrice signalés précédemment. Suivant la position du point neutre, si l'on peut appeler ainsi la longueur d'onde pour laquelle la force électromotrice s'annule en changeant de signe, la lame, indiquant en lumière blanche la somme algébrique des effets observés dans le spectre, est tantôt négative, tantôt positive. Quelques lames même présentent deux inversions dans le spectre visible ; pour une d'entre elles la force élec-

tromotrice était négative jusqu'à $\lambda = 0^{\mu},589$, nulle jusqu'à $\lambda = 0^{\mu},560$, puis positive de $\lambda = 0^{\mu},560$ à $\lambda = 0^{\mu},445$, nulle jusqu'à $\lambda = 0^{\mu},415$ et négative pour le reste du spectre. Sous l'influence de la lumière blanche (gaz), cette lame était négative. Quels que soient cependant les résultats observés au début, lorsqu'un certain temps s'est écoulé depuis la préparation des actinomètres, tous indiquent que la lame éclairée est toujours négative pour toutes les radiations du spectre, et, en tant que signe de la force électromotrice, ils deviennent tous comparables.

Pour suivre les changements qui, avec le temps, s'opèrent dans un actinomètre donné, on a, comme dans le cas des lames de cuivre chloruré, plongé dans une solution bouillie de SO^4K^2 au $\frac{1}{100}$ deux lames recouvertes de bromure de cuivre par immersion dans l'eau bromée et mastiqué le bouchon pour en assurer la conservation. Il ressort de vingt-trois expériences faites de juillet 1895 à octobre 1896 avec le même actinomètre, qu'avec le temps :

1° Le point neutre rétrograde peu à peu vers les radiations les moins réfrangibles ;

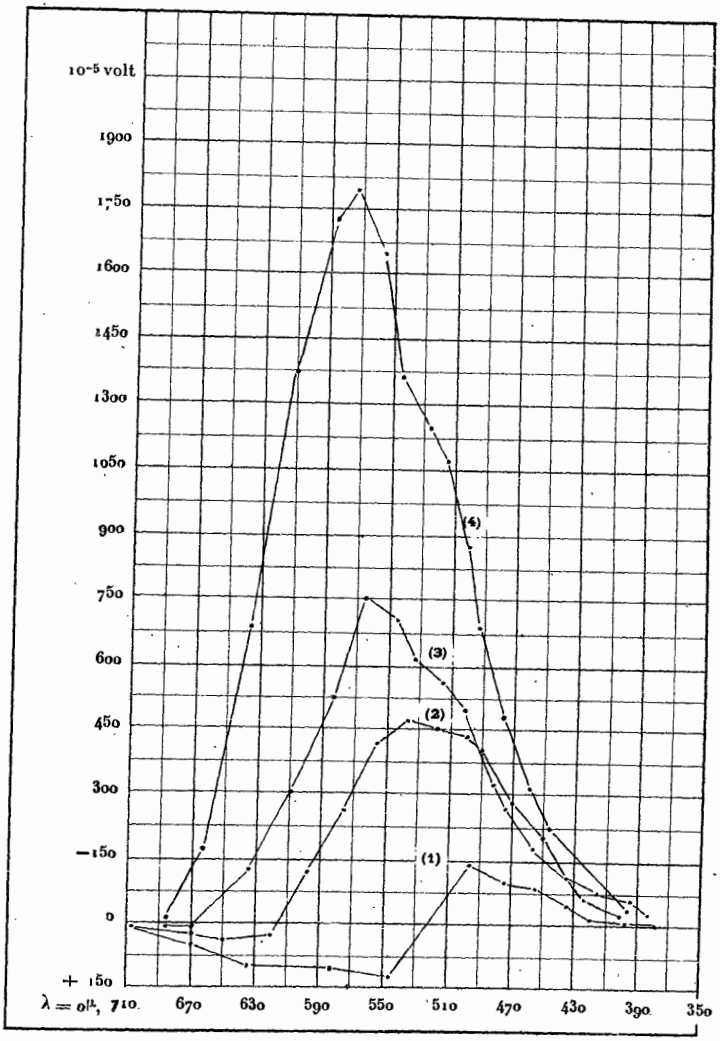
2° Les valeurs des forces électromotrices positives correspondant à l'extrémité la moins réfrangible du spectre diminuent tandis qu'au contraire les valeurs des forces électromotrices négatives correspondant aux plus petites longueurs d'onde augmentent très rapidement. La longueur d'onde pour laquelle l'élément présente la plus grande sensibilité est voisine de $\lambda = 0^{\mu},570$.

Les quatre expériences rapportées ci-après ont été obtenues avec la lumière solaire pendant l'été 1895.

CUIVRE BROMURÉ

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotrices en 10^{-5} volt			
	(1) 6 juillet	(2) 9 juillet	(3) 16 juillet	(4) 17 octobre
0μ,710	+ 6	+ 6	+ 5	+ 4
687	12	16	5	— 4
650	80	38	— 56	264
623	116	29	200	920
597	117	— 135	396	1640
576	120	260	640	1778
557	137	416	732	1640
539	80	468	660	1320
522	— 24	450	585	1120
505	112	438	514	920
492	144	410	408	648
470	96	273	232	360
450	64	200	152	220
433	36	117	86	128
418	18	75	56	56
405	12	51	32	40
386	9	20	8	16
384	8	7	6	»
375	1	2	3	»

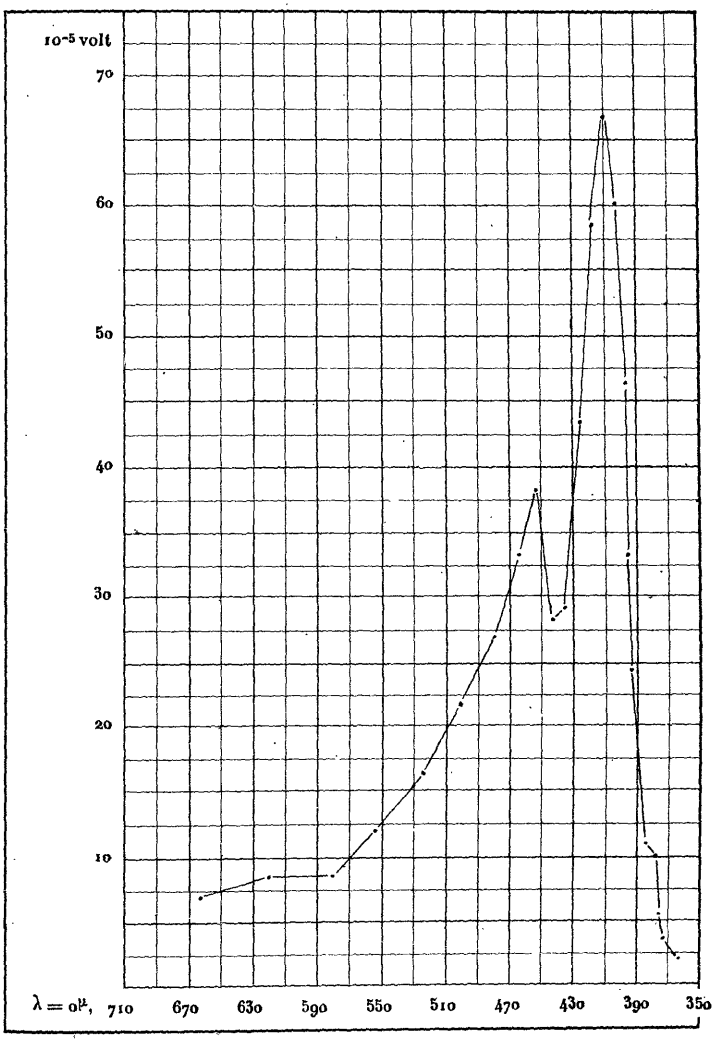
CUIVRE BROMURÉ



CUIVRE IODURÉ

LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt	LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt
0μ,660	7	0μ,417	58
619	8	412	67
580	8	407	60
554	12	402	46
527	16	398	33
503	22	393	24
480	27	386	11
466	33	382	10
454	38	377	6
443	28	372	4
434	29	388	3
423	43	»	»

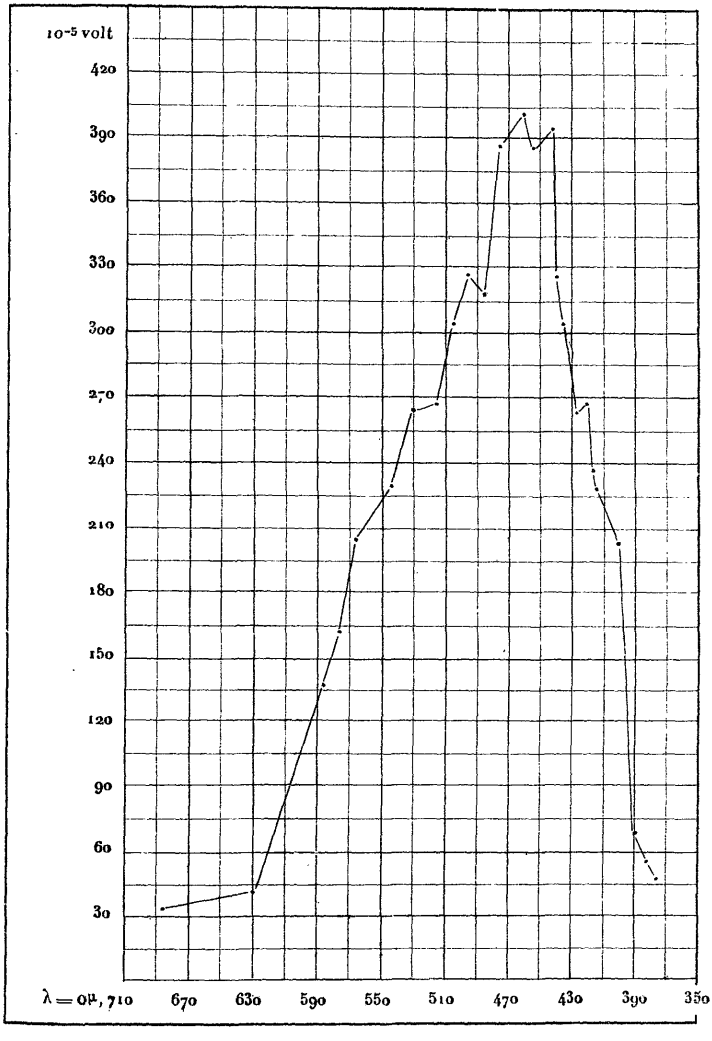
CUIVRE IODURÉ



ÉTAIN OXYDÉ

LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt	LONGUEURS D'ONDE	10^{-5} volt
0μ,687	35	0μ,462	402
630	43	455	384
589	137	448	396
574	164	442	323
558	203	435	304
543	230	429	259
530	261	424	266
515	266	417	239
504	308	412	228
494	329	402	200
485	318	390	69
477	384	380	56
470	384	372	46

ÉTAIN OXYDÉ


10-5 volt
420
390
360
330
300
270
240
210
180
150
120
90
60
30
λ = 0μ,710
670
630
590
550
510
470
430
390
350

LAMES DE CUIVRE IODURÉ

Contrairement aux résultats que donnent les lames chlorurées ou bromurées, les expériences faites dans le spectre avec un actinomètre formé de deux lames de cuivre ioduré par électrolyse sont toujours comparables soit que l'actinomètre ait été préparé récemment ou depuis un certain temps. La lame éclairée est toujours positive par rapport à l'autre pour toutes les longueurs d'onde. D'une étude d'une vingtaine d'actinomètres soit à la lumière solaire, soit à la lumière électrique, il ressort que la force électromotrice passe par deux maxima, l'un vers $\lambda = 0^{\mu},460$, l'autre vers $\lambda = 0^{\mu},410$. L'expérience rapportée ci-après a été faite à la lumière solaire.

LAMES D'ÉTAIN OXYDÉ

Les lames d'étain recouvertes d'oxyde ont été étudiées par G. M. Minchin dans le spectre de la lumière Drummond obtenu avec un prisme de CS^2. Minchin signale que « l'action de la partie bleue du spectre est beaucoup plus grande que celle d'une autre partie ». L'expérience relatée ci-contre a été faite en employant la lumière solaire et le résultat concorde avec celui de Minchin ; les divisions de la règle sur laquelle se mouvait l'actinomètre étant transformées en longueurs d'onde comme il a été dit plus haut, on a pu déterminer avec toute la précision possible dans de semblables mesures la position moyenne des longueurs d'onde pour lesquelles l'actinomètre est le plus sensible : c'est en effet vers $\lambda = 0^{\mu},460$ que la force électromotrice atteint sa plus grande valeur, à peu près à la limite du bleu et de l'indigo.

LAMES D'ÉTAIN SULFURÉ

Dans un spectre, un actinomètre formé de deux lames d'étain sulfuré donne pour toutes les radiations des indications parfaitement concordantes comme signe de la force électromotrice, la lame éclairée étant toujours positive. On peut mettre un tel actinomètre en expérience aussitôt après sa préparation ; on constate que surtout les radiations peu réfrangibles développent les plus grandes forces électromotrices : l'effet, très net pour la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},820$, est maximum vers $\lambda = 0^{\mu},660$, puis la force électromotrice décroît jusque vers $\lambda = 0^{\mu},400$.

L'expérience rapportée ci-dessous a été faite avec la lumière solaire en juin 1894, la fente au porte-lumière n'ayant que 1^{mm} de largeur. On voit qu'un tel actinomètre présente une grande sensibilité dans le rouge.

Les lames d'étain sulfuré plongeaient dans une solution au $\frac{1}{100}$ de NaCl.

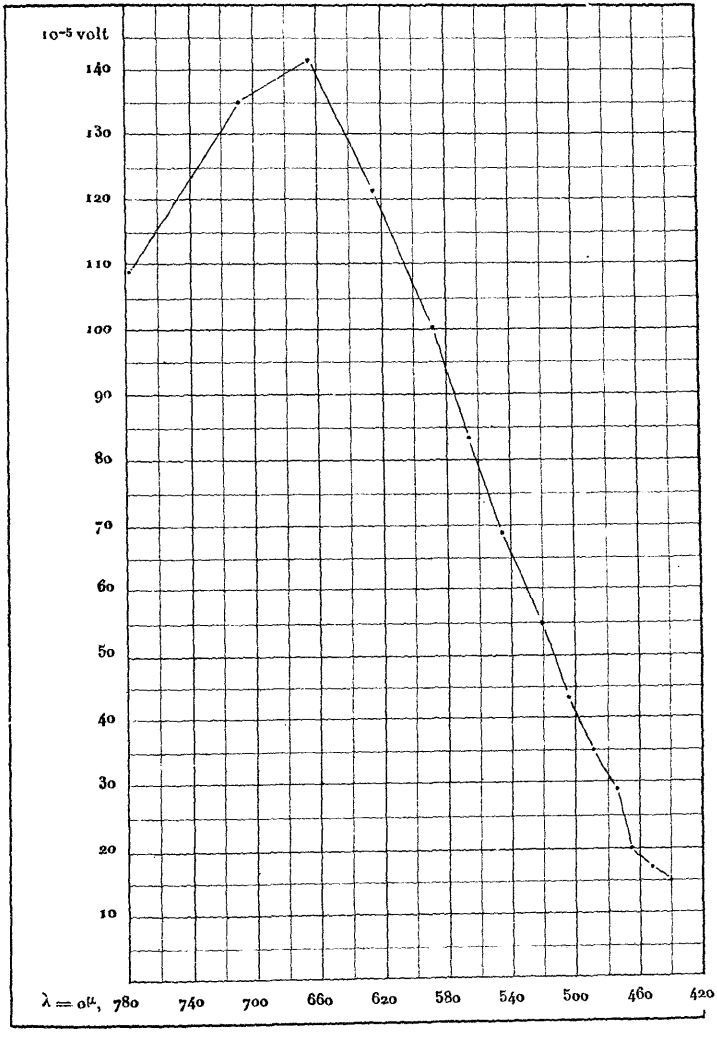
LAMES D'ARGENT SULFURÉ

En exposant dans le spectre un actinomètre à lames d'argent sulfuré, on constate sa sensibilité pour les radiations infra-rouges à une grande distance des dernières radiations visibles ; le galvanomètre donne encore des indications pour la longueur d'onde $\lambda = 1^{\mu},32$ et on retrouve dans le spectre solaire les deux minima à $\lambda = 0^{\mu},96$ et à $\lambda = 1^{\mu},16$ et le grand maximum vers $\lambda = 1^{\mu},04$ signalés par Langley. La force électromotrice développée par la partie la plus active du spectre infra-rouge, la fente au porte-lumière n'ayant que $1^{mm},4$ de largeur, est de 3 à 4 millièmes de volt, l'électrolyte étant une solution au $\frac{1}{100}$ de

ÉTAIN SULFURÉ

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotrices en 10^{-5} volt
0μ,820	39
780	109
710	135
663	142
623	121
590	100
565	84
542	69
520	55
503	43
488	35
474	29
464	20
450	17
440	10

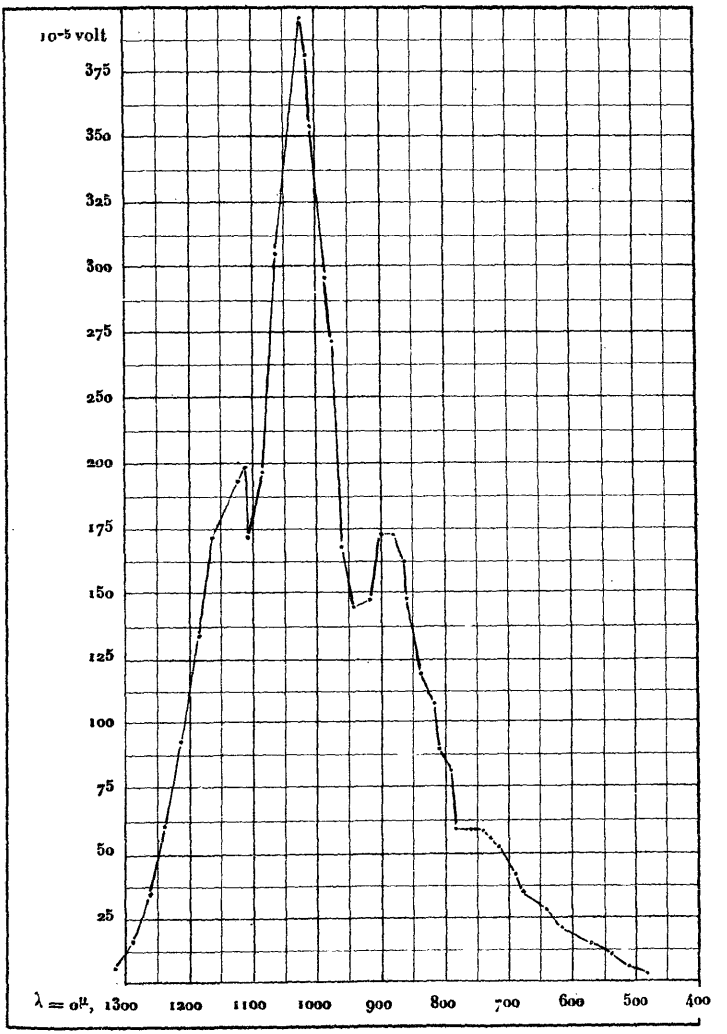
ÉTAIN SULFURÉ



ARGENT SULFURÉ

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromot. en 10^{-5} volt.	LONGUEURS D'ONDE	Forces électromot. en 10^{-5} volt
1μ,330	2	0μ,884	174
308	64	868	163
290	15	854	148
260	34	838	118
238	62	822	107
212	90	808	88
188	135	792	80
164	172	776	62
124	193	760	62
122	197	748	60
102	169	738	56
080	193	716	53
060	306	694	41
030	390	674	34
024	380	644	28
004	354	624	21
0μ,984	292	580	15
968	268	540	11
952	167	508	6
940	144	498	6
920	148	486	4
900	174	»	»

ARGENT SULFURÉ



NaCl. Dans la partie visible du spectre, la sensibilité décroît très rapidement de la raie A à la raie F, pour devenir ensuite négligeable.

La lame éclairée est toujours négative par rapport à l'autre, quelle que soit la solution employée, et la position du maximum de sensibilité est indépendante du choix de cette solution. On s'est servi de solutions au $\frac{1}{100}$ de $AgAzO^3$, $C^2H^3AgO^2$, SO^4K^2, NaI, NaBr, KI et KBr.

TROISIÈME PARTIE

ACTION DES MATIÈRES COLORANTES

Dans les recherches sur l'accroissement de force électromotrice sous l'action des matières colorantes des composés du cuivre précédemment étudiés, on s'est servi de matières colorantes organiques artificielles analogues ou identiques à celles qu'on emploie pour sensibiliser les plaques photographiques pour certaines radiations. Elles ont été dissoutes soit dans l'eau, soit dans l'alcool, et c'est par une simple immersion des lames sensibles dans ces solutions très peu concentrées qu'on augmente beaucoup leur sensibilité pour toutes les radiations en général, mais surtout pour certaines longueurs d'onde dépendant du choix de la matière colorante. Il suffit de laisser les lames quelques minutes dans la solution et, les tenant verticalement, d'enlever avec du papier buvard l'excès de matière colorante non retenue par les lames; puis les lames, séchées à l'air, sont mises immédiatement en expérience. Afin de se rendre compte de l'effet produit par une matière colorante donnée, on étudie d'abord les lames non teintes, formant actinomètre à la lumière du gaz, puis dans le spectre ; une fois les lames teintes, les mêmes expériences sont répétées. En prenant le rapport des forces électromotrices trouvées dans les mêmes conditions, on a l'accroissement de force électromotrice due à la matière colorante.

Les solutions de ces matières colorantes ont été étudiées au spectrophotomètre de M. Gouy et leur courbe d'absorption

tracée afin de connaître exactement la position, dans le spectre, du minimum de lumière transmise, et de rechercher, dans la suite, si la longueur d'onde pour laquelle l'accroissement de force électromotrice était maximum correspondait ou non avec le maximum d'absorption.

Les matières colorantes employées dans les expériences décrites dans la suite ont été :

Violet de formyle,	Vert brillant,
Violet de méthyle,	Jaune de métanile,
Bleu soluble,	Safranine,
Cyanine,	Eosine,
Vert malachite,	Erythrosine.

Ces différentes matières colorantes appartiennent aux groupes des quinoléines, des phtaléines, des safranines, du triphénilméthane, des dérivés azoïques.

ÉTUDE DES MATIÈRES COLORANTES AU SPECTROPHOTOMÈTRE

Les sources lumineuses employées sont le gaz brûlant dans des becs Argand munis de régulateurs assurant la constance de la lumière pendant la durée des expériences. Pour ne tenir compte que de l'absorption due à la matière colorante, on se sert de deux cuves identiques d'un centimètre d'épaisseur et on interpose successivement sur le trajet du rayon lumineux la cuve contenant le dissolvant et la cuve contenant la solution.

Les résultats obtenus dans l'étude des six matières colorantes sont résumés dans le tableau et les courbes ci-après; on a porté en ordonnées le pour-cent de lumière transmise et en abscisses les longueurs d'onde.

INFLUENCE DE L'ÉLECTROLYTE SUR LA SENSIBILISATION PAR LES MATIÈRES COLORANTES

Pour un éclairement donné, l'augmentation de sensibilité dû à une matière colorante ne paraît pas dépendre du choix de l'électrolyte. Ainsi deux mêmes lames de cuivre oxydé ont été successivement plongées dans différentes solutions à 1 pour 100; on a, pour chaque solution, mesuré la force électromotrice développée par la lumière du gaz avant et après l'immersion dans une matière colorante ; à chaque changement d'électrolyte, les lames étaient frottées dans l'eau, puis lavées, afin d'enlever la matière colorante ; l'expérience montre que ce traitement n'altère pas sensiblement la couche d'oxyde. Ainsi, sur un élément à lames de cuivre oxydé plongeant dans une solution de sulfate de potassium, la lumière développe une force électromotrice égale à 58×10^{-5} volt ; on teint les lames au violet de formyle, on a 105×10^{-5}, on lave ensuite ces lames en les frottant avec le doigt dans l'eau distillée et on retrouve à nouveau 58×10^{-5} volt.

Des expériences ont été faites avec le vert malachite et le violet de formyle, elles sont résumées dans le tableau suivant :

Vert malachite.

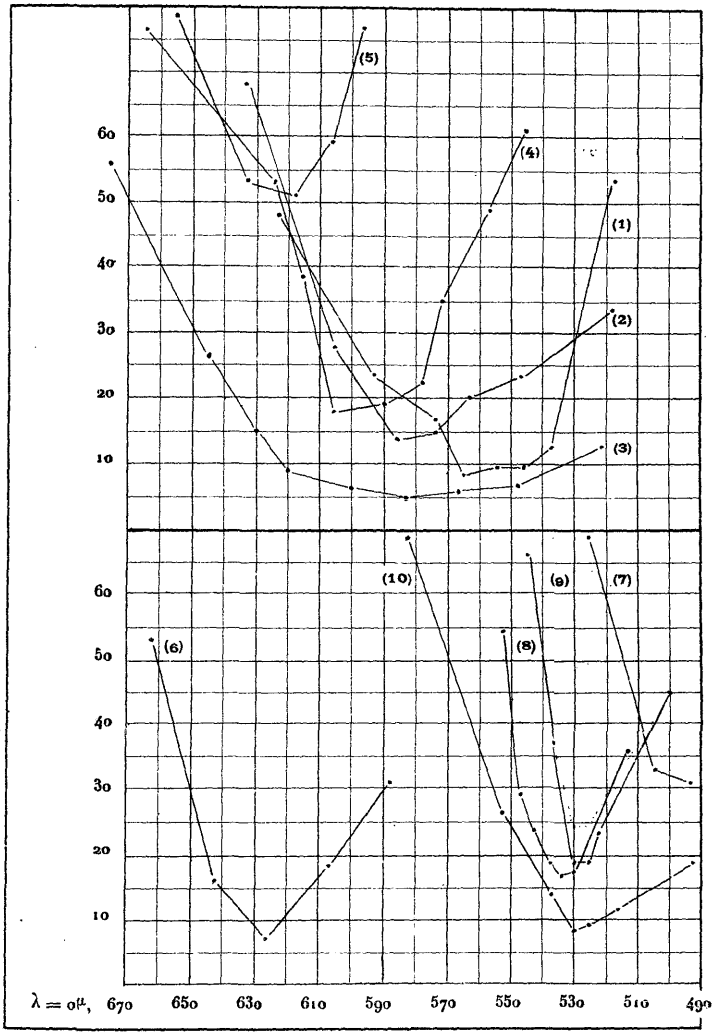
Solution à 1 0/0	Forces électromotrices. Lames non teintes	Lames teintes	Rapport des f. e. m.
—	—	—	—
SO^4K^2. . . .	12×10^{-5}	26	2,2
$C^2H^3NaO^2$ . .	41	105	2,5
SO^4Mg . . .	59	100	1,7
NaCl	82	210	2,6
NaBr	95	260	2,7
NaI	177	480	2,7
		MOYENNE	2,4

COURBES D'ABSORPTION DES MATIÈRES COLORANTES ÉTUDIÉES

VIOLET DE FORMYLE (1)		VIOLET DE MÉTHYLE (2)		BLEU SOLUBLE (3)		CYANINE (4)		VERT MALACHITE (5)	
λ	%	λ	%	λ	%	λ	%	λ	%
0μ,619	48,4	0μ,630	67,3	0μ,685	56,5	0μ,634	76,1	0μ,661	91,9
595	23,4	607	27,6	644	25,5	625	54,5	631	53,7
574	16,8	583	14	630	15	616	33,8	625	53,1
564	9	573	15,5	619	9,4	604	18,3	619	51,4
555	9,9	563	19,6	600	5,9	590	19,6	607	59,2
546	9,9	546	23,1	583	5	579	22,3	595	67,8
538	12,3	523	32,3	567	5,2	571	35,4	564	86
510	53,9			549	6,6	558	49,1		
				522	17	547	61		

VERT BRILLANT (6)		JAUNE DE MÉTANILE (7)		SAFRANINE (8)		ÉOSINE (9)		ÉRYTHROSINE (10)	
λ	%	λ	%	λ	%	λ	%	λ	%
0μ,720	92,1	0μ,618	93,2	0μ,622	97,4	0μ,587	99	0μ,619	84,7
661	53,4	563	90	554	54,4	558	88,2	583	71,4
641	16,5	523	70,3	546	28,7	546	65,8	554	25,1
625	7,2	503	42,4	542	24	538	36,2	537	14
607	18,4	492	30,6	538	18,3	530	19,8	530	8
589	30,1			535	17,3	526	19,2	526	9,4
				530	18,3	521	22,8	516	12
				511	35,5	506	44,2	492	18

COURBES D'ABSORPTION DES MATIÈRES COLORANTES ÉTUDIÉES



Violet de formyle.

Solutions à 1 0/0	Forces électromotrices. Lames non teintes	Lames teintes	Rapport des f. e. m.
	—	—	—
SO^4K^2	58×10^{-5}v	105×10^{-5}v	1,8
SO^4Mg . . .	60	70	1,2
NaI	180	326	1,8
KI.	360	520	1,4
NaCl	192	206	1,2
		MOYENNE . . .	1,5

On voit que, quelque soit l'électrolyte, le rapport de la force électromotrice après et avant la sensibilisation par une matière colorante est à peu près le même : 2,4 dans le cas du vert malachite ; 1,5 pour le violet de formyle, par conséquent indépendant de l'électrolyte. Ces coefficients ne se rapportent, bien entendu, qu'aux éléments expérimentés, ils sont variables d'un élément à l'autre.

En effet, choisissant comme électrolyte une solution de chlorure de sodium, on prépare une série d'éléments à l'oxyde de cuivre différant par leur degré d'oxydation ; on mesure la force électromotrice développée par la lumière du gaz, on les teint ensuite dans une même solution de vert malachite, une nouvelle mesure permet de trouver le rapport de la force électromotrice après et avant la sensibilisation. On a :

Degré d'oxydation	Forces électromotrices Lames non teintes	Lames teintes	Rapport des f. e. m.
—	—	—	—
Jaune paille	5×10^{-5}v	215×10^{-5}v	43
1er violet	7	245	45
2e violet	118	354	3
3e violet	194	291	1,5
Oxydation plus avancée .	194	310	1,6

L'action sensibilisatrice du vert malachite a donc été d'au-

tant plus forte que l'élément était moins sensible à l'action de la lumière, et, une fois teints, la force électromotrice de ces éléments oscille autour de 300×10^{-5} volt pour l'éclairement employé.

Les expériences relatées ci-après ont porté sur :

1° Les lames de cuivre oxydé traitées par les matières colorantes suivantes : violet de formyle, violet de méthyle, bleu soluble, cyanine, vert malachite, vert brillant, safranine, éosine, érythrosine ;

2° Les lames de cuivre floruré : violet de formyle, cyanine, vert malachite, érythrosine ;

3° Les lames de cuivre chloruré : cyanine, vert malachite ;

4° Les lames de cuivre bromuré : cyanine, vert malachite ;

5° Les lames de cuivre ioduré : cyanine, vert malachite.

L'électrolyte choisi a toujours été une solution au $\frac{1}{100}$ d'iodure de sodium.

Les courbes se rapportant aux lames non teintes portent le n° 1 ; aux lames teintes, le n° 2 ; et les courbes n° 3 représentent pour chaque longueur d'onde le rapport de la force électromotrice de la lame teinte à la force électromotrice de la lame non teinte ; la valeur du rapport est inscrite à droite de la courbe.

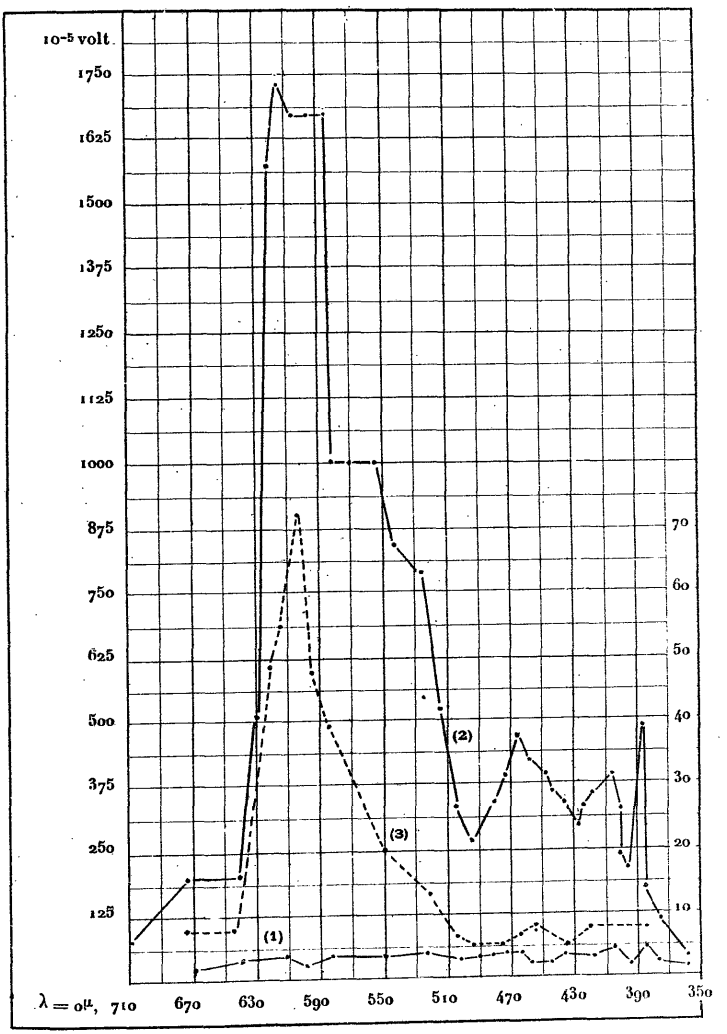
LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES AU VIOLET DE FORMYLE

Les lames de cuivre oxydé qui ont servi à construire un actinomètre destiné à comparer les forces électromotrices avant et après l'action de la matière colorante étaient peu sensibles à la lumière et la force électromotrice développée par le gaz n'était que de 36×10^{-5} volt. Après leur immersion dans le violet de formyle, la force électromotrice observée est de 970×10^{-5} dans les mêmes conditions, c'est-à-dire vingt-sept fois plus

CUIVRE OXYDÉ ET VIOLET DE FORMYLE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é. m.
	Lames non teintes	Lames teintes.	
μ,750	23	53	2,3
710	»	80	»
673	25	190	7,6
644	29	204	7
631	»	504	»
623	32	1570	49
614	31	1724	55
605	23	1680	73
596	36	1680	39
587	»	1000	»
554	51	1000	20
540	»	832	»
526	61	812	13
513	»	524	»
502	48	324	6,7
492	56	260	4,5
483	62	332	5,3
474	65	384	5,9
466	64	455	7
457	57	422	7,4
449	55	400	7,3
434	60	323	5,4
427	»	292	»
420	45	320	7
408	85	406	4,7
402	»	324	»
398	51	249	4,9
393	»	216	»
386	74	496	6
380	50	162	3,2
372	10	78	7,8
359	8	16	2

CUIVRE OXYDÉ ET VIOLET DE FORMYLE



grande. L'effet de la matière colorante persiste un temps assez long, comme l'indique la série d'expériences ci-dessous faites avec le même actinomètre, dans les mêmes conditions d'éclairement.

9 novembre,	on observe une	f.e.m.	égale à	970×10^{-5} volt.
19 —	—	—		970
29 —	—	—		350
18 décembre	—	—		364

Par conséquent trente-neuf jours après avoir plongé les lames dans le violet de formyle, la force électromotrice est encore dix fois ce qu'elle était avant cette immersion.

En étudiant ces lames dans le spectre, on constate un très grand accroissement de force électromotrice dans l'orangé avec un maximum correspondant aux longueurs d'onde voisines de $\lambda = 0^{\mu},618$. La position du maximum a été déterminée par plusieurs expériences faites avec le soleil au moyen du réseau de Rowland, ce nombre est la moyenne de huit expériences, les nombres extrêmes trouvés étant $\lambda = 0^{\mu},611$ et $\lambda = 0^{\mu},623$. Dans l'expérience actuelle faite avec la lumière électrique et un prisme de flint, le maximum tombe également aux mêmes longueurs d'onde. L'effet du violet de formyle est surtout marqué à $\lambda = 0^{\mu},605$, longueur d'onde pour laquelle la force électromotrice se trouve multipliée par 73.

En se reportant aux courbes d'absorption de cette matière colorante, on constate que l'absorption, maximum pour $\lambda = 0^{\mu},564$, a lieu surtout de $\lambda = 0^{\mu},570$ à $\lambda = 0^{\mu},540$; le maximum ne sensibilité se trouve reporté vers la partie la moins réfrangible du spectre par rapport au maximum d'absorption.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES AU VIOLET DE MÉTHYLE

L'actinomètre en expérience était très sensible à l'action de la lumière, le gaz développant une force électromotrice de

140×10^{-5} volt; après l'immersion dans une solution de violet de méthyle, on observe dans les mêmes conditions 753×10^{-5}, le rapport des deux forces électromotrices est 5,3. L'effet produit par la matière colorante n'a pas persisté, car le même actinomètre conservé et mis en expérience dix jours après accuse comme force électromotrice 125×10^{-5} volt seulement.

C'est dans l'orangé du spectre que l'action est la plus marquée avec un maximum très net vers $\lambda = 0^{\mu},622$ et c'est à la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},583$ que se trouve le maximum d'absorption de la solution de violet de méthyle, le maximum de sensibilité se trouve donc reporté vers la partie la plus réfrangible du spectre par rapport au maximum d'absorption.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES AU BLEU SOLUBLE

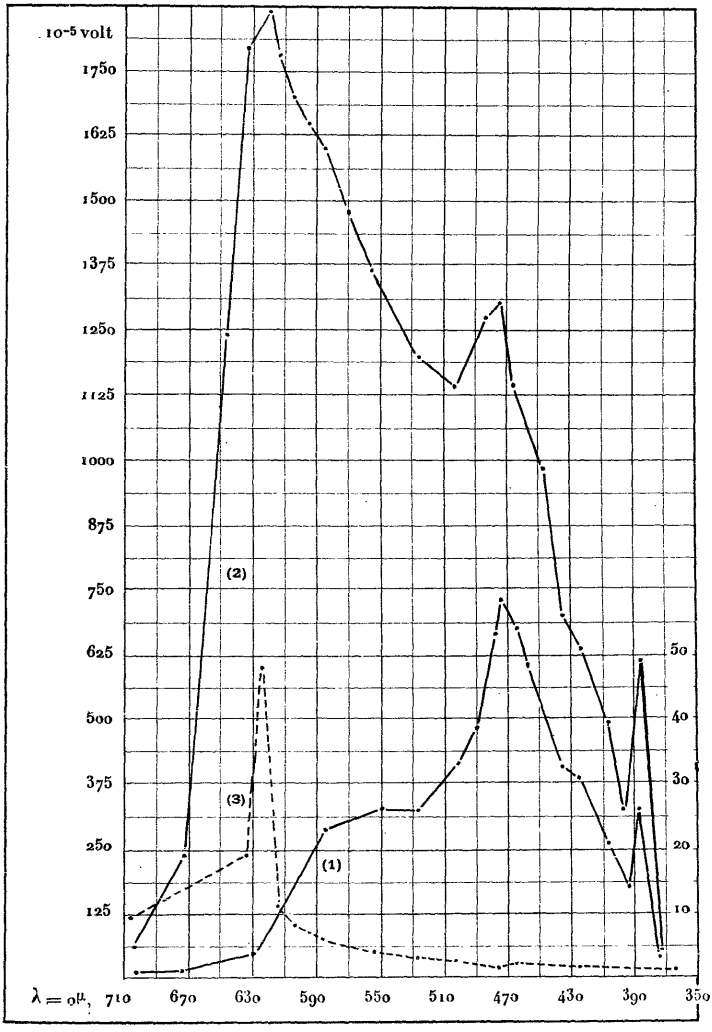
Avant le traitement par le bleu soluble, le gaz développait une force électromotrice de 54×10^{-5} volt, après on observe dans les mêmes conditions 558×10^{-5}, le rapport des forces électromotrices est égal à 10,3. L'action de la matière colorante cesse assez rapidement, car dix jours après le même actinomètre ne donne que 80×10^{-5} volt dans les mêmes conditions.

Cette matière colorante rend l'actinomètre très sensible aux radiations jaunes; dans l'expérience rapportée ci-contre, on constate un maximum très net à $\lambda = 0^{\mu},588$. La solution examinée au spectroscope présente une large bande d'absorption s'étendant de $\lambda = 0^{\mu},630$ à $\lambda = 0^{\mu},530$ et le spectrophotomètre indique le maximum d'absorption à $0^{\mu},583$; l'accroissement de sensibilité de l'actinomètre a donc lieu pour une longueur d'onde plus grande que le maximum d'absorption.

CUIVRE OXYDÉ ET VIOLET DE MÉTHYLE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt. Lames non teintes	Lames teintes	RAPPORT des f.é.m.
0μ,750	»	24	»
704	8	76	9,5
672	»	248	»
644	»	1230	»
633	92	1780	19
622	40	1860	46,5
614	160	1780	11
604	200	1700	8,5
595	»	1640	»
587	280	1590	5,6
570	»	1470	»
555	320	1370	4,3
525	318	1190	3,7
503	420	1140	2,7
483	668	1280	1,9
474	726	1310	1,8
466	624	1250	2
449	»	1000	»
434	396	696	1,7
420	376	636	1,7
408	260	490	1,8
398	172	320	1,8
386	336	620	1,8
372	40	64	1,6

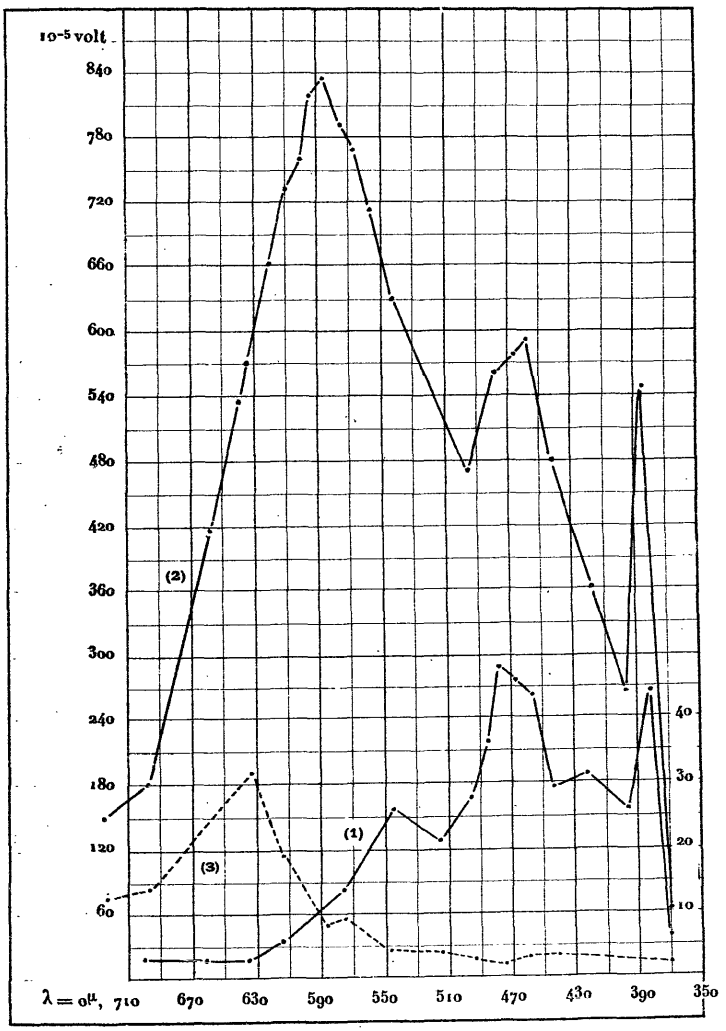
CUIVRE OXYDÉ ET VIOLET DE MÉTHYLE



CUIVRE OXYDÉ ET BLEU SOLUBLE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
$0^{\mu},730$	12	150	12,5
697	14	180	13,6
660	15	488	32,5
644	»	534	»
634	18	570	31,6
623	»	660	»
612	38	728	19,5
603	»	756	»
594	»	816	»
588	94	836	8,8
576	82	752	9,6
569	»	764	»
560	»	710	»
544	154	630	4,1
515	128	510	3,9
495	160	466	2,9
477	281	560	1,9
469	274	576	2,1
460	264	580	2,2
444	176	480	2,7
418	184	360	1,9
398	154	262	1.7
384	384	548	1,4
370	34	64	1,8

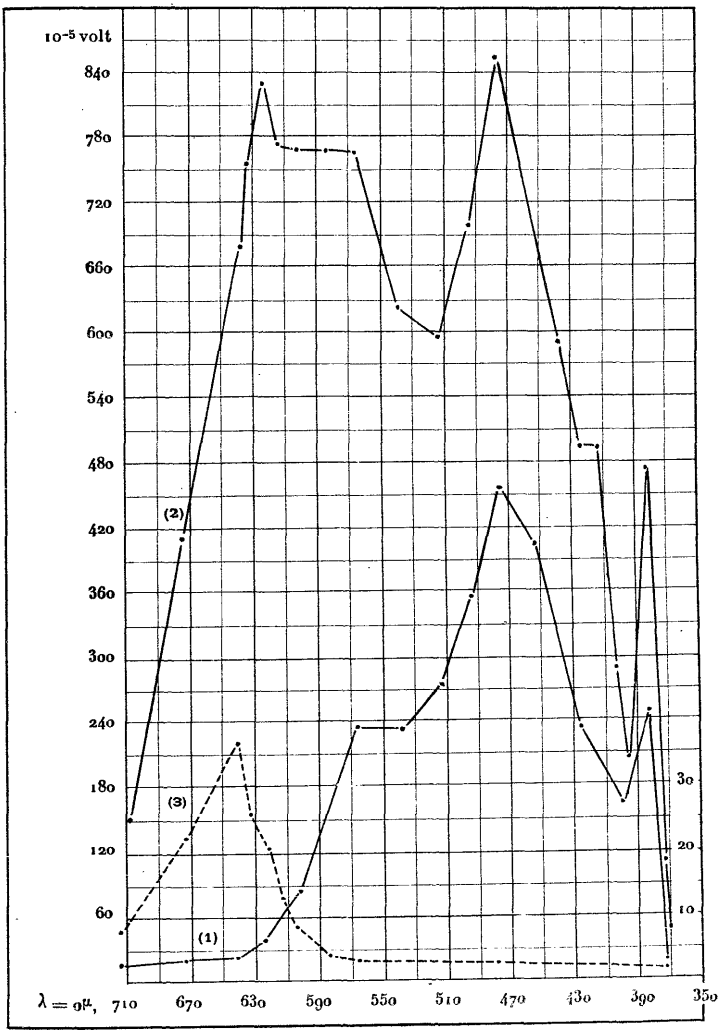
CUIVRE OXYDÉ ET BLEU SOLUBLE



CUIVRE OXYDÉ ET CYANINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt. Lames non teintes	Lames teintes	RAPPORT des f.é.m.
0μ,760	»	82	»
710	18	151	8,4
675	19	408	21,5
643	19	680	36
632	30	754	25,1
622	40	825	20,6
612	62	775	12,5
603	89	763	8,6
585	160	767	4,8
568	230	764	3,4
538	233	624	2,7
512	274	597	2,2
492	356	697	2
474	»	852	»
456	457	860	1,9
440	300	590	2
427	232	495	2,1
414	»	490	»
403	159	296	1,9
394	»	200	»
386	246	477	1,9
378	»	103	»
372	26	40	1,5

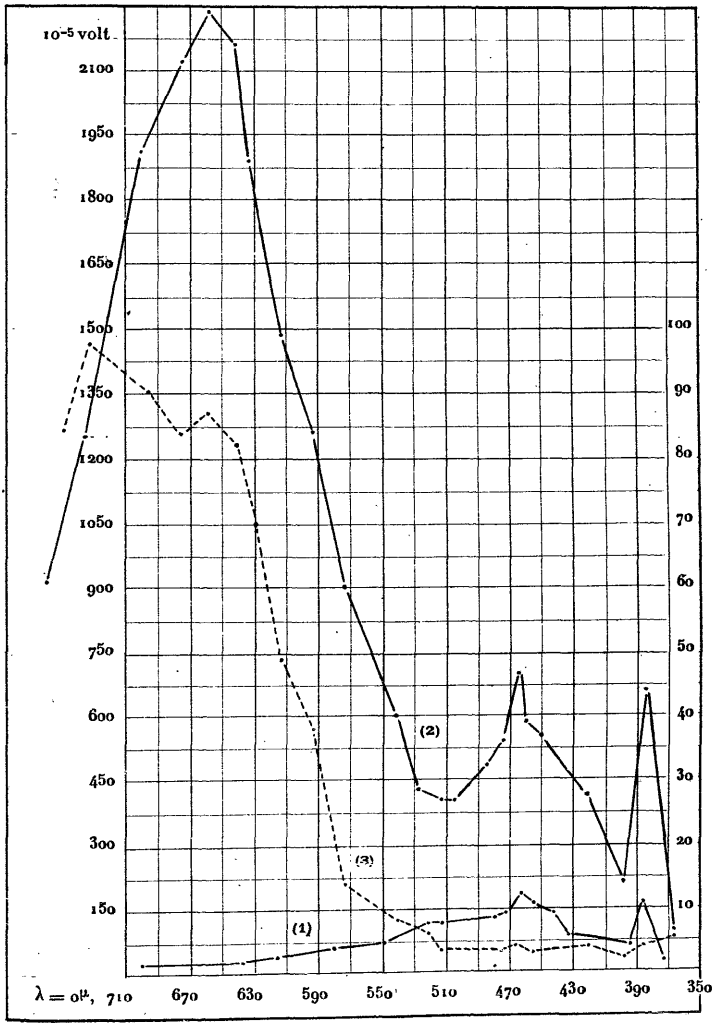
CUIVRE OXYDÉ ET CYANINE



CUIVRE OXYDÉ ET VERT MALACHITE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,800	10	216	21,6
780	12	760	63,3
740	13	1270	97,6
697	21	1890	90
675	25	2120	84,8
658	26	2260	86,9
644	26	2160	82,3
632	27	1890	70
612	30	1490	49,6
592	33	1270	38
575	64	900	14
542	77	600	7,8
528	90	424	4,7
513	105	410	3,9
483	125	488	3,9
474	136	532	3,9
468	156	700	4,4
457	166	596	3,5
450	147	564	3,9
422	86	412	4 7
400	84	222	2,6
387	153	652	4,2
368	18	100	5,5

CUIVRE OXYDÉ ET VERT MALACHITE



LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES A LA CYANINE

L'immersion dans une solution alcoolique de cyanine a multiplié par 10,3 la force électromotrice développée par la lumière du gaz. Avant l'immersion on a 40×10^{-5} volt, aussitôt après 412×10^{-5}. L'effet persiste un certain temps, car douze jours après on a encore 380×10^{-5} et trente jours après 316×10^{-5} avec le même actinomètre, dans les mêmes conditions. C'est surtout pour les radiations comprises entre $\lambda = 0^{\mu},670$ et $\lambda = 0^{\mu},510$ que la force électromotrice subit un accroissement très notable et elle devient maximum vers $\lambda = 0^{\mu},620$; à la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},643$ la force électromotrice est augmentée dans le rapport de 1 à 36. Au spectrophotomètre, la bande d'absorption assez resserrée s'étend de $\lambda = 0^{\mu},610$ à $\lambda = 0^{\mu},570$ avec maximum vers $\lambda = 0^{\mu},604$. La matière colorante produit donc surtout son effet pour une longueur d'onde plus grande que celle qui correspond au maximum d'absorption.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES AU VERT MALACHITE

Une immersion de quelques secondes dans une solution aqueuse de vert malachite suffit pour que la force électromotrice pour un éclairement donné soit augmentée dans de grandes proportions; dans l'actinomètre qui a servi à l'expérience ci-après la lumière du gaz développait une force électromotrice de 44×10^{-5} volt et de 1050×10^{-5} après traitement par la matière colorante, c'est-à-dire 23,8 fois plus grande.

C'est dans le rouge que l'action est la plus marquée. Elle s'étend de $\lambda = 0^{\mu},800$ jusqu'à $\lambda = 0^{\mu},550$ avec un maximum de force électromotrice vers $\lambda = 0^{\mu},660$. L'actinomètre étant par lui-même peu sensible dans cette région du spectre, il s'en suit que l'accroissement de force électromotrice est surtout consi-

dérable pour les grandes longueurs d'onde et à $0^{\mu},740$ le rapport des forces électromotrices est égal à 97,6.

Au spectrophotomètre, le maximum d'absorption est relevé à $\lambda = 0^{\mu},618$; l'effet de la matière colorante se fait donc sentir pour des radiations moins réfrangibles que celles qui sont le plus absorbées.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES AU VERT BRILLANT

L'actinomètre qui a servi à cette expérience était par lui-même très sensible à l'action de la lumière; le gaz développait une force électromotrice de 302×10^{-5} volt et après immersion dans la solution aqueuse de vert brillant on n'avait que 860×10^{-5}, c'est-à-dire une force électromotrice 2,8 fois plus grande. L'effet de la matière colorante ne persiste que peu de temps; quinze jours après la première expérience, on n'obtient avec le même actinomètre que $130 \times 10^{-5}\,\omega$, c'est-à-dire une force électromotrice inférieure à celle qu'on obtenait avant d'avoir teint les lames.

Dans le spectre on constate que les rayons rouges sont surtout actifs sur les lames teintes; le maximum de force électromotrice se trouve vers $\lambda = 0^{\mu},660$, et, étant donné le peu de sensibilité des lames de cuivre oxydé pour les radiations peu réfrangibles, on obtient un très grand accroissement de force électromotrice pour ces radiations; à $\lambda = 0^{\mu},660$ le rapport des forces électromotrices est égal à 54.

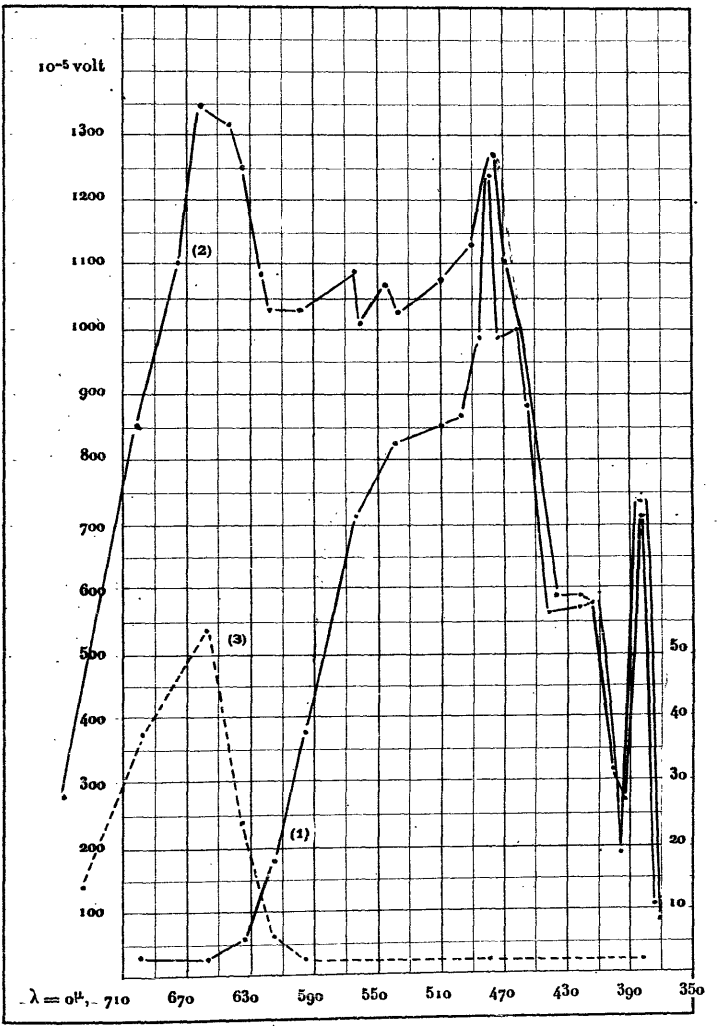
LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES AU JAUNE DE MÉTANILE

L'immersion des lames dans une solution de jaune de métanile augmente la force électromotrice d'un actinomètre pour un éclairement donné; l'effet n'est pas considérable, car le

CUIVRE OXYDÉ ET VERT BRILLANT

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,800	»	56	»
760	18	260	14,4
700	24	904	37,5
675	»	1010	»
660	25	1350	54
646	»	1320	»
634	52	1250	24
623	»	1090	»
614	180	1030	5,6
596	373	1030	2,7
567	»	1090	»
562	704	1000	1.4
548	»	1070	»
535	836	1030	1,2
510	854	1070	1,2
490	985	1130	1,1
480	1245	1260	1
471	980	1110	1,1
455	880	880	1
440	560	580	1
424	»	580	»
392	»	180	»
386	720	792	1,1
375	»	86	»

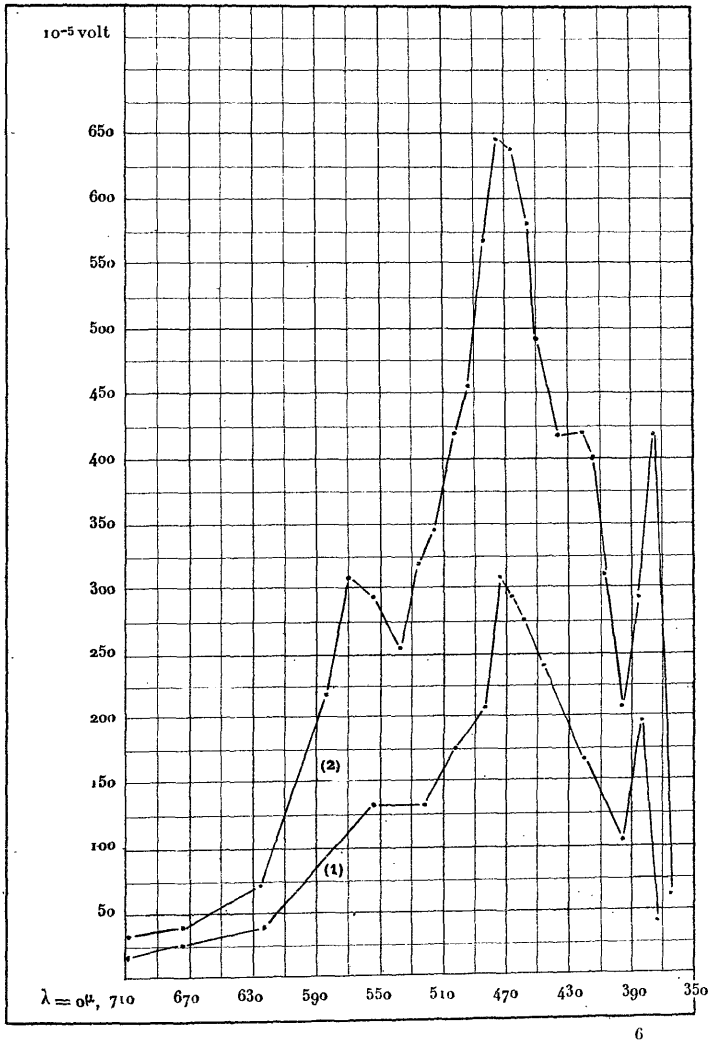
CUIVRE OXYDÉ ET VERT BRILLANT



CUIVRE OXYDÉ ET JAUNE DE MÉTANILE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,710	18	30	1,7
674	26	37	1,4
624	36	73	2
589	88	218	2,5
570	»	307	»
554	128	297	2,3
538	130	252	1,9
526	131	358	2,4
512	»	341	»
502	175	420	2,4
493	188	455	2,4
484	205	568	2,8
474	307	648	1,75
466	297	638	2,1
457	278	576	2,1
450	233	488	2,1
434	»	416	»
420	166	420	2,5
414	144	400	2,8
408	128	312	2,4
397	100	208	2,1
389	178	290	1,6
384	199	416	2,3
373	28	57	2

CUIVRE OXYDÉ ET JAUNE DE MÉTANILE



rapport des forces électromotrices n'est que 2,6 pour la lumière du gaz. Dans le spectre, on constate un accroissement de force électromotrice pour toutes les radiations, mais la courbe reliant ces forces électromotrices aux longueurs d'onde conserve la même allure que pour les lames non teintes, sans maximum spécial paraissant correspondre à la couleur employée. L'examen d'une solution de jaune métanile au spectrophotomètre ne révèle pas de minimum d'absorption dans le spectre visible ; l'absorption commence à la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},520$ et s'étend sur toute la partie la plus réfrangible. Le rapport des forces électromotrices n'atteint 2,8 qu'aux longueurs d'onde $\lambda = 0^{\mu},484$ et $\lambda = 0^{\mu},400$; pour toutes les autres radiations, il est inférieur.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES A LA SAFRANINE

Pour la lumière du gaz, l'immersion dans la safranine augmente la force électromotrice de l'actinomètre dans le rapport de 1 à 2,9. Dans le spectre, on constate que pour toutes les radiations il y a augmentation de force électromotrice et particulièrement pour la partie la moins réfrangible, dans une autre expérience faite au soleil avec le réseau de Rowland, un actinomètre teint à la safranine s'est montré sensible jusqu'au delà de $\lambda = 0^{\mu},800$. On retrouve toujours un maximum à $0^{\mu},560$, maximum n'existant pas quand les lames ne sont pas teintes.

L'étude du spectre d'absorption indique qu'une bande étroite s'étend de $\lambda = 0^{\mu},550$ à $\lambda = 0^{\mu},510$ avec maximum à $\lambda = 0^{\mu},535$. L'action de la matière colorante sur la lame de cuivre produit donc une sensibilisation pour des radiations moins réfrangibles que celles qui sont le plus absorbées.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES A L'ÉOSINE

L'immersion dans la solution d'éosine a doublé la force électromotrice observée à la lumière du gaz. Avant de teindre les lames on avait 100×10^{-5} volt et après on obtient 204×10^{-5}.

Dans le spectre on observe un accroissement très marqué pour les longueurs d'onde comprises entre $\lambda = 0^{\mu},600$ et $\lambda = 0^{\mu},510$ avec un maximum que plusieurs expériences faites au soleil et avec le réseau ont indiqué vers $\lambda = 0^{\mu},554$.

Le spectre d'absorption d'une solution d'éosine montre une bande étroite de $\lambda = 0^{\mu},554$ à $\lambda = 0^{\mu},496$ avec maximum à $\lambda = 0^{\mu},526$; c'est donc toujours pour des radiations d'une réfrangibilité moindre que celles qui sont le plus absorbées que l'effet de la matière colorante est le plus marqué.

LAMES DE CUIVRE OXYDÉ TEINTES A L'ÉRYTHROSINE

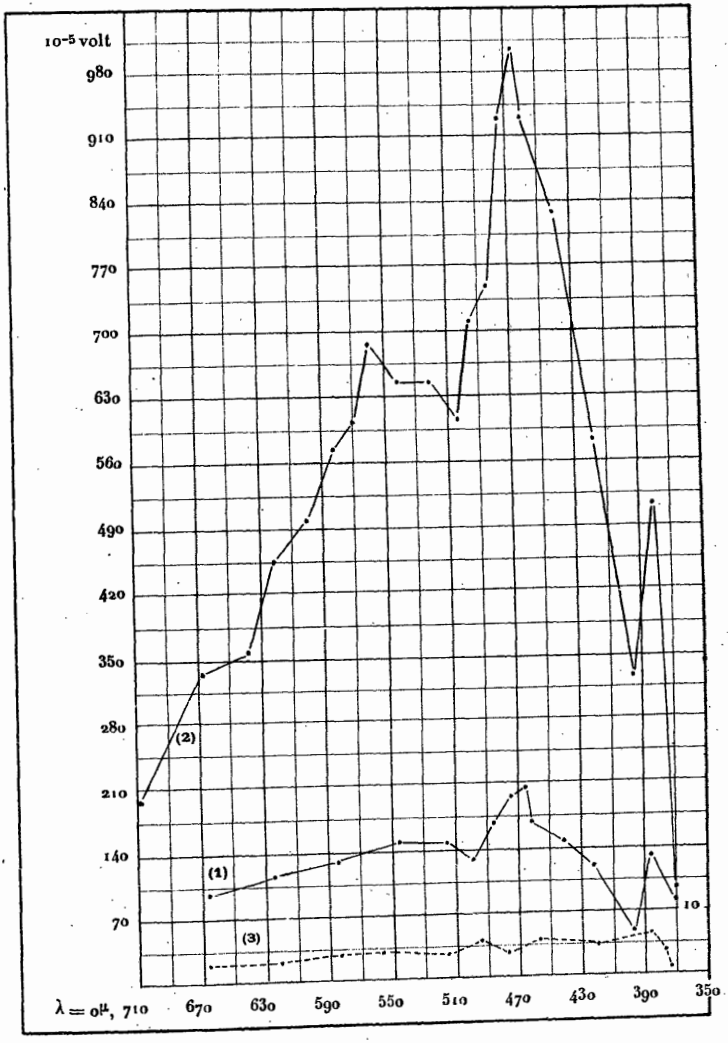
Pour un actinomètre dont les lames n'ont pas été traitées par l'érythrosine, le gaz développait une force électromotrice de 38×10^{-5} volt, après l'immersion des lames dans la solution colorante, on obtient dans les mêmes conditions 440×10^{-5}, c'est-à-dire une force électromotrice 11,3 fois plus grande. L'effet persiste tout en s'affaiblissant, car treize jours après on avait encore 238×10^{5} volt et un mois après 197×10^{-5}.

Dans le spectre on constate qu'à partir de $\lambda = 0^{\mu},580$ la sensibilité de l'actinomètre est augmentée pour toutes les radiations, mais on rencontre un premier maximum vers $\lambda = 0^{\mu},560$ maximum qui apparaît constamment chaque fois que l'on expérimente avec des lames de cuivre oxydé teintées d'érythrosine. Le spectrophotomètre indique un maximum d'absorption à $\lambda = 0^{\mu},530$.

CUIVRE OXYDÉ ET SAFRANINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,760	66	138	2,1
710	»	200	»
668	100	326	3,3
639	»	357	»
620	114	455	3,9
599	494	»	»
582	132	572	4,3
573	»	576	»
570	»	598	»
560	153	688	4,4
548	147	640	4,3
524	»	650	»
516	150	654	4,3
505	»	600	»
495	130	712	5,4
487	174	748	4,3
478	197	916	4,6
469	206	1017	4,9
460	164	928	5,6
443	146	796	5,4
417	122	580	4,7
396	50	328	6,6
386	138	560	4
370	76	92	1,2

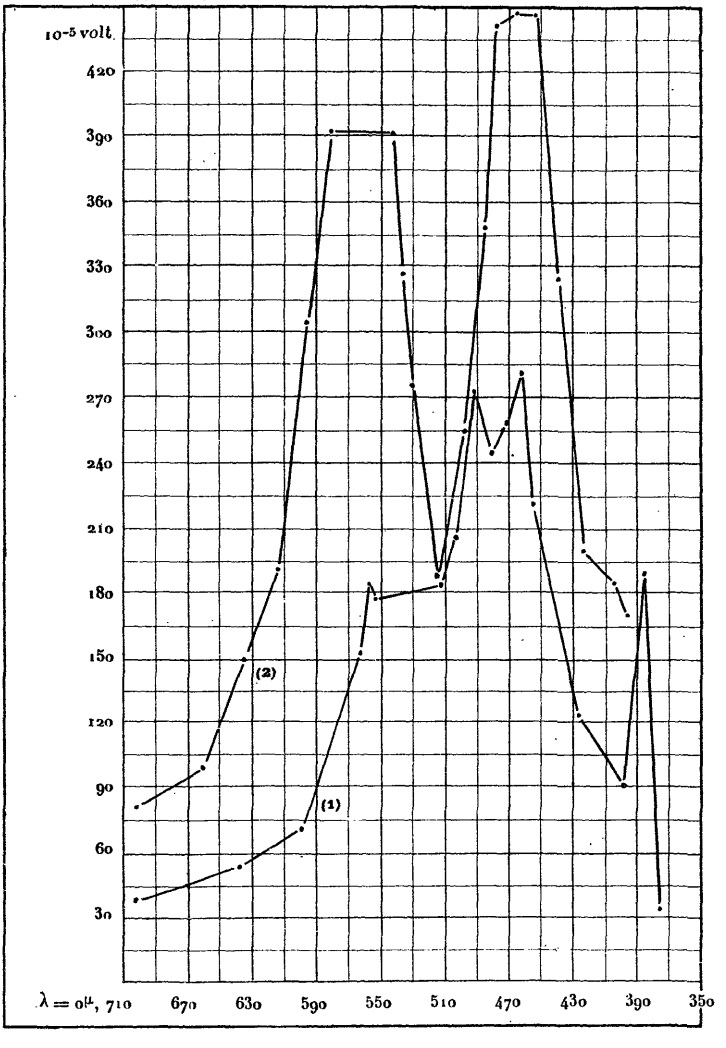
CUIVRE OXYDÉ ET SAFRANINE



CUIVRE OXYDÉ ET ÉOSINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes.	
0μ,780	»	56	»
740	40	68	1,7
700	40	80	2
660	46	98	2,1
635	57	148	26
614	62	196	3,1
594	62	304	4,9
578	110	390	3,5
569	140	392	2,8
545	172	392	2,3
537	170	326	1,9
530	172	277	1,6
516	178	184	1
505	195	203	1
495	256	256	1
486	260	348	1,3
477	252	432	1.7
468	268	455	1,7
460	273	452	1,7
452	218	440	2
438	184	322	1,7
425	150	198	1,2
400	90	»	»
387	190	»	»
377	34	»	»

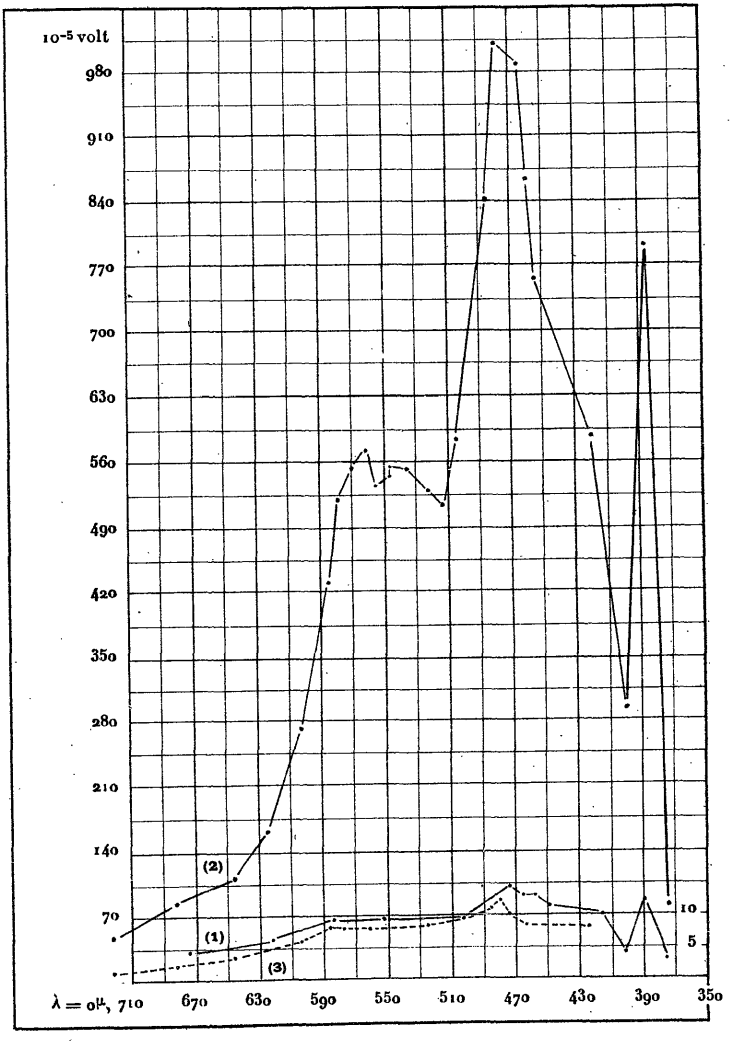
CUIVRE OXYDÉ ET ÉOSINE



CUIVRE OXYDÉ ET ÉRYTHROSINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,720	27	40	1,4
684	31	86	2,8
648	36	116	3,2
626	39	164	4,2
604	50	276	5,5
587	60	424	7
579	65	520	8
570	66	556	8,4
562	66	570	8,9
555	66	536	8,[illegible]
548	64	548	8,6
540	61	556	9,1
526	57	530	9,3
512	61	524	8.4
502	68	580	8,5
485	75	840	11,3
476	98	1013	10
468	100	988	9,9
460	104	864	9,9
452	95	748	7,8
422	70	590	8,4
400	28	286	10,2
387	94	792	8,4
374	10	76	7,6

CUIVRE OXYDÉ ET ÉRYTHROSINE



LAMES DE CUIVRE FLUORURÉ TEINTES VIOLET DE FORMYLE

L'actinomètre avait à la lumière du gaz une force électromotrice de $9 \times 10^{-5}\omega$, immédiatement après avoir plongé les lames dans une solution de violet de formyle on a 540×10^{-5} volt, c'est-à-dire une force électromotrice 60 fois plus grande ; vingt-quatre heures après, même résultat ; vingt jours plus tard on obtient dans les mêmes conditions 120×10^{5} volt, l'effet s'affaiblit mais persiste. Dans le spectre l'accroissement de force électromotrice a lieu de $\lambda = 0^{\mu},670$ à $\lambda = 0^{\mu},500$ avec maximum vers $\lambda = 0^{\mu},610$.

LAMES DE CUIVRE FLUORURÉ TEINTES A LA CYANINE

Pour la lumière du gaz, après une immersion dans une solution alcoolique de cyanine, on observe une force électromotrice 154 fois plus grande, l'actinomètre accusant d'abord 10×10^{-5} volt puis 1540×10^{-5}; l'effet de la matière colorante disparaît lentement, car vingt-deux jours après on n'obtient plus que 670×10^{-5} et, au bout de deux mois et demi, 374×10^{-5}, les conditions d'éclairement étant les mêmes. Dans le spectre l'accroissement de force électromotrice se fait surtout sentir pour les radiations plus réfrangibles que $\lambda = 0^{\mu},500$ avec un maximum voisin de $\lambda = 0^{\mu},620$. La courbe du rapport des forces électromotrices ne peut être tracée pour toutes les longueurs d'onde par suite du peu de sensibilité de l'actinomètre à lames non teintes pour des longueurs d'onde plus grandes que $\lambda = 0^{\mu},600$.

LAMES DE CUIVRE FLUORURÉ TEINTES VERT MALACHITE

On a vu précédemment que les lames de cuivre traitées par l'acide fluorhydrique gazeux étaient très peu sensibles aux

radiations rouges et orangées et comme le vert malachite, sensibilise ces lames surtout pour ces radiations, il s'ensuit que par immersion dans une solution de cette matière colorante la force électromotrice développée par un éclairement donné est considérablement augmentée. Pour la lumière du gaz, le rapport des forces électromotrices se trouve multiplié par 120. L'effet persiste un certain temps, mais s'affaiblit peu à peu ; le même actinomètre donne dans les mêmes conditions d'éclairement :

immédiatement après l'action	du	vert	malachite	1080×10^{-5} volt
le lendemain	—	—	—	560
28 jours après	—	—	—	250

Dans le spectre l'action se fait sentir de $\lambda = 0^{\mu},800$, à $\lambda = 0^{\mu},550$ avec un maximum dans la même région que celui observé quand on teint les lames de cuivre oxydé.

La courbe des rapports des forces électromotrices n'a pu être tracée pour les grandes longueurs d'onde, l'actinomètre non teint étant trop peu sensible.

LAMES DE CUIVRE FLUORURÉ TEINTES A L'ÉRYTHROSINE

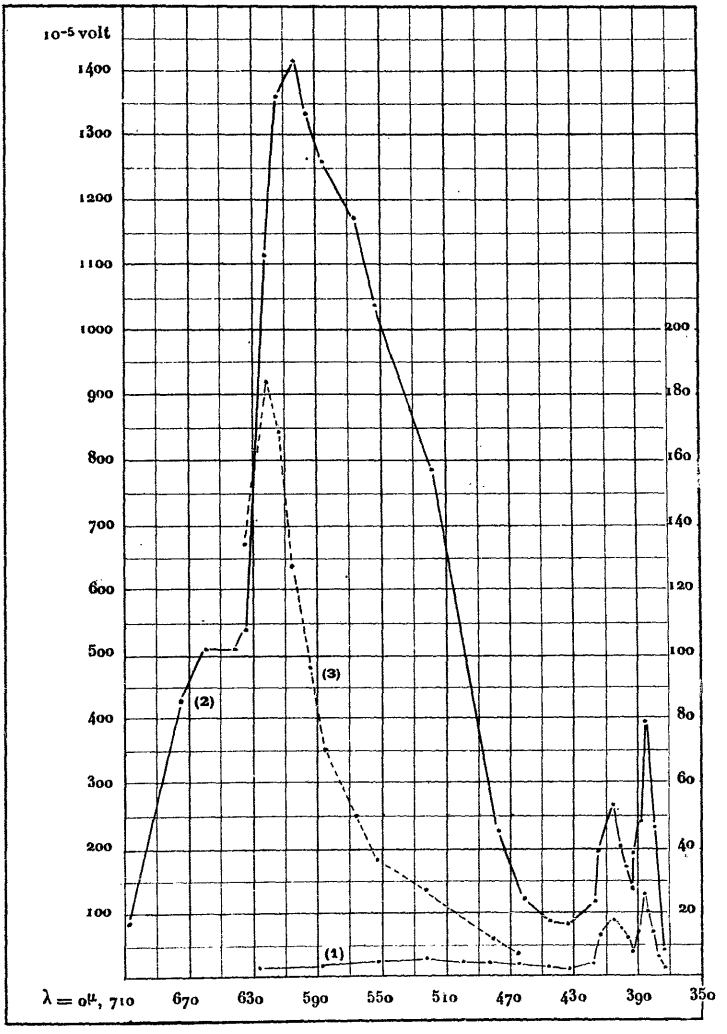
La lumière du gaz ne développait qu'une force électromotrice de 4×10^{-5} volt dans l'actinomètre et, après immersion dans une solution d'érythrosine, on a dans les mêmes conditions 30×10^{-5}, d'où un rapport des forces électromotrices égal à 7,5.

En étudiant l'actinomètre dans le spectre, on constate que sous l'influence de l'érythrosine, il devient beaucoup plus sensible pour les longueurs d'onde voisines de $0^{\mu},580$ et que, de plus il y a un grand accroissement de force électromotrice vers $0^{\mu},380$ avec un minimum bien accentué vers $0^{\mu},430$.

CUIVRE FLUORURÉ ET VIOLET DE FORMYLE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é. m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0,μ750	»	63	»
710	2	87	43,5
676	2	425	212
659	2	504	252
644	3	510	137
633	4	536	134
623	6	1113	185
614	8	1352	169
605	11	1414	128
595	14	1331	95
586	18	1253	69,8
568	23	1164	50,3
551	29	1035	35,7
522	29	790	27,2
482	18	223	12,4
464	14	120	8,6
448	9	77	8,6
433	9	75	8,3
419	22	113	5.7
415	62	200	3.2
408	90	263	2,9
403	75	200	2,7
398	62	157	2,5
393	47	138	2,9
390	68	190	2,8
387	98	392	4
381	64	233	3,6
374	6	45	7.5

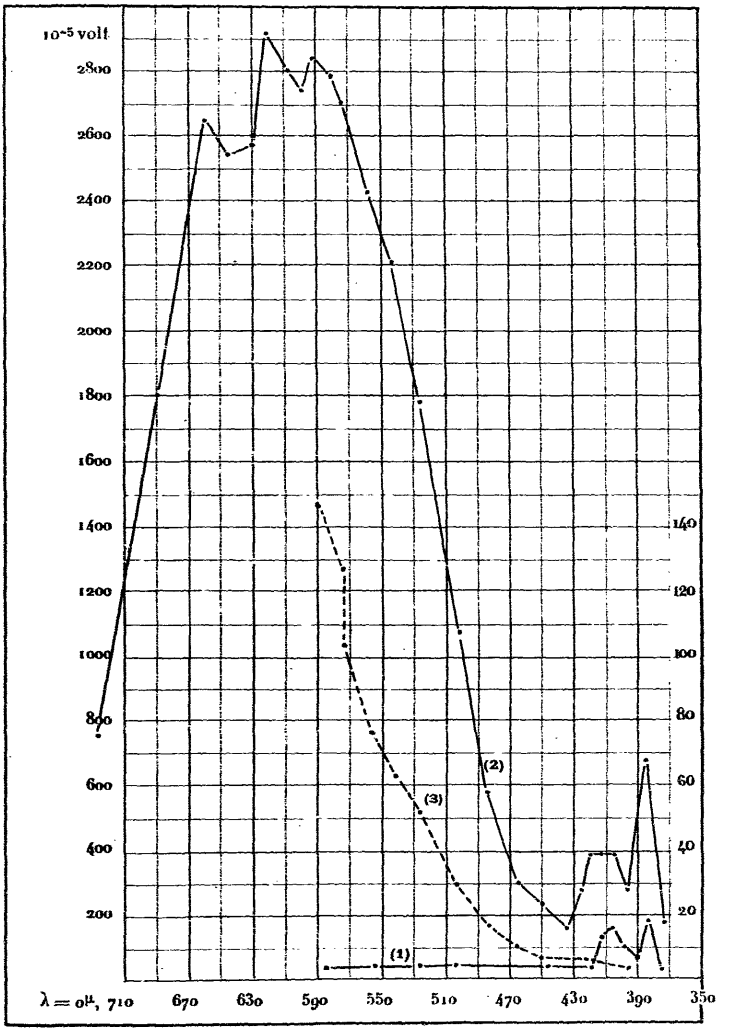
CUIVRE FLUORURÉ ET VIOLET DE FORMYLE



CUIVRE FLUORURÉ ET CYANINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é. m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,780	»	340	»
730	»	750	»
688	»	1800	»
656	»	2620	»
643	»	2540	»
630	»	2560	»
620	10	2920	292
609	12	2800	230
599	15	2760	184
590	19	2820	157
581	22	2790	127
572	26	2700	104
557	32	2420	76
542	35	2200	63
527	35	1780	51
505	37	1070	29
484	37	560	15
467	30	300	10
450	28	220	8
435	34	170	5
422	46	270	6
416	51	400	4
411	»	400	»
405	158	400	2,5
400	150	270	1,8
386	183	670	3,5
375	36	160	4,5

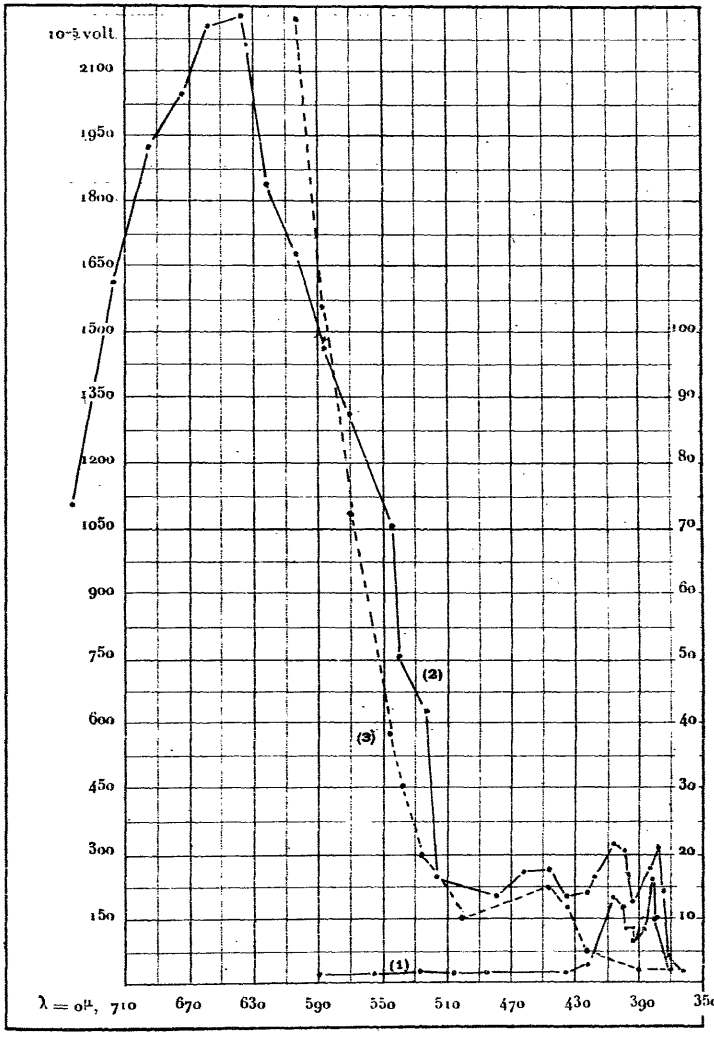
CUIVRE FLUORURÉ ET CYANINE



CUIVRE FLUORURÉ ET VERT MALACHITE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt		RAPPORT des f. é. m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,750	1	1100	»
715	1	1620	»
692	1	1920	»
673	1	2040	»
660	1	2200	»
644	1	2240	»
633	1	2170	»
621	2	1840	920
605	7	1670	238
587	14	1450	104
570	18	1300	72
545	26	970	37,3
539	25	760	30,4
526	29	620	21,4
502	26	240	9,2
483	24	218	9,1
466	20	264	13,2
449	16	250	15,6
434	16	200	12,5
421	45	220	4,9
414	140	260	1,9
408	200	326	1,63
403	172	306	1,8
398	139	228	1,6
392	95	190	2
388	135	250	1,9
383	266	304	1,1
380	145	222	1,5
372	27	61	2,2
365	19	22	1,2
358	»	10	»

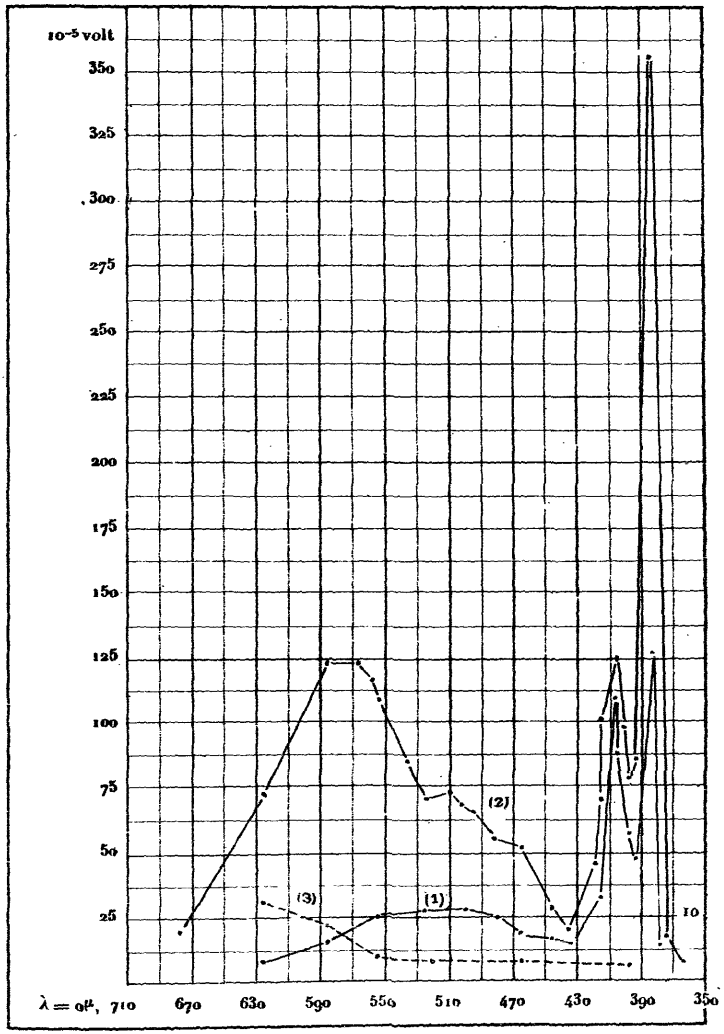
CUIVRE FLUORURÉ ET VERT MALACHITE



CUIVRE FLUORURÉ ET ÉRYTHROSINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,676	»	21	»
623	6	73	12
586	15	125	8,3
568	»	125	»
559	»	117	»
551	25	110	4,5
537	»	85	»
522	27	69	2,6
509	27	72	»
500	27	67	2,5
491	»	64	»
482	25	55	2,2
464	18	50	2,8
448	13	29	2,2
433	16	18	1,2
419	32	44	1,4
415	70	100	1,4
408	108	125	1,2
403	88	98	1,1
398	56	76	1,4
390	»	83	»
393	48	65	1,4
387	134	354	2,5
374	14	18	1,3
368	»	8	»

CUIVRE FLUORURÉ ET ÉRYTHROSINE



LAMES DE CUIVRE CHLORURÉ TEINTES A LA CYANINE

C'est aux lames préparées par électrolyse de chlorure de sodium qu'on s'est adressé pour étudier l'action de la cyanine ; les raisons qui ont guidé dans le choix de ces lames sont développées dans l'étude qui suit immédiatement celle-ci.

A la lumière du gaz on observe une force électromotrice égale à 20×10^{-5} volt ; l'action de la cyanine porte cette force électromotrice à 960×10^{-5} soit 48 fois plus considérable ; deux jours après dans les mêmes conditions on obtient un résultat identique et au bout de deux mois on a encore 345×10^{-5} volt.

Dans le spectre la plus grande force électromotrice correspond aux radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},630$; par l'action de la cyanine elle s'est trouvée multipliée par 73.

LAMES DE CUIVRE CHLORURÉ TEINTES VERT MALACHITE

En traitant par les matières colorantes étudiées précédemment les lames de cuivre chloruré préparées par électrolyse d'une solution acide de chlorure cuivreux, on ne retrouve pas la constance des effets observés dans le cas des lames de cuivre oxydé ; on rencontre des difficultés analogues à celles déjà signalées lors de l'étude des mêmes lames non teintes en lumière blanche ou dans le spectre : certaines lames ne se sensibilisent pas ; d'autres, au contraire préparées, de façon indentique, montrent par l'accroissement de force électromotrice l'action de la matière colorante ; de plus, le signe de la force électromotrice de la lame éclairée ne se conserve pas toujours après une immersion dans la solution colorée. Un seul résultat est constant quand la matière colorante agit, c'est la position dans le spectre des longueurs d'onde qui, pour une matière

colorante donnée, développent la plus grande force électromotrice.

Ainsi l'action des matières colorantes a été essayée sur les actinomètres dont l'étude a été faite précédemment; le vert malachite, qui est une des matières colorantes donnant un fort accroissement de force électromotrice, s'est montré quelquefois complètement inactif, d'autres fois on a obtenu une sensibilisation. Dans une expérience on constate bien un maximum de force électromotrice pour les radiations voisines de $0^{\mu},630$ caractérisant la matière colorante employée mais le signe de la force électromotrice change plusieurs fois dans l'étendue du spectre.

Dans l'élément non sensibilisé, la lame éclairée s'est montrée négative par rapport à l'autre pour toutes les radiations de $\lambda = 0^{\mu},716$ à $\lambda = 0^{\mu},380$; une fois teinte la même lame, sensible dans l'extrême rouge est négative à $\lambda = 0^{\mu},800$, positive de $\lambda = 0^{\mu},760$ à $\lambda = 0^{\mu},555$, puis redevient négative jusqu'à $\lambda = 0^{\mu},450$ pour changer encore une fois de signe et rester positive pour toutes les radiations de longueurs d'onde plus petites. Des essais faits avec d'autres matières colorantes donnent des résultats analogues.

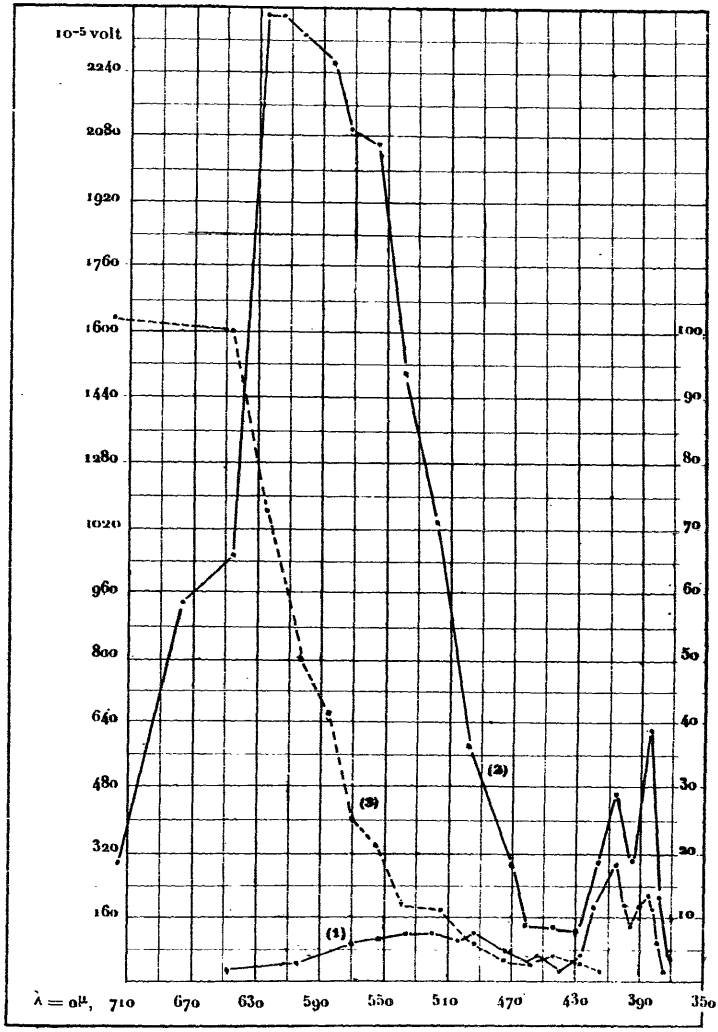
Si, au contraire, on s'adresse aux lames préparées par électrolyse d'une solution de chlorure de sodium, les résultats sont constants et rappellent ceux déjà signalés pour les autres composés du cuivre. L'expérience relatée ci-après se rapporte à l'action du vert malachite. La lumière du gaz sur l'actinomètre à lames non teintes développait une force électromotrice de 15×10^{-5} volt; après immersion dans la solution colorée, on obtient dans les mêmes conditions 1340×10^{-5} volt, soit une force électromotrice 89 fois plus considérable. Dans le spectre, la force électromotrice maximum correspond aux radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},660$; la mesure faite à $\lambda = 0^{\mu},662$ indique que la force électromotrice a été multipliée par 254.

L'effet de la matière colorante persiste : 24 heures après on trouve dans les mêmes conditions 1180×10^{-5}, après 48 heures,

CUIVRE CHLORURÉ ET CYANINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,800	»	60	»
760	»	100	»
716	3	310	103
677	»	940	»
647	15	1500	100
624	33	2400	73
615	»	2400	»
604	47	2350	50
586	56	2260	41
570	85	2100	25
553	98	2060	21
538	119	1500	12,5
513	107	1140	10,6
502	98	»	»
492	103	580	5,6
482	88	»	»
473	73	310	4,3
464	66	»	»
456	66	155	2,4
448	63	»	»
441	34	141	4,1
428	50	131	2,6
416	189	314	1,7
404	294	450	1,5
399	190	»	»
394	147	»	»
390	176	»	»
387	212	300	1.4
383	190	»	»
379	88	»	»
371	29	»	»

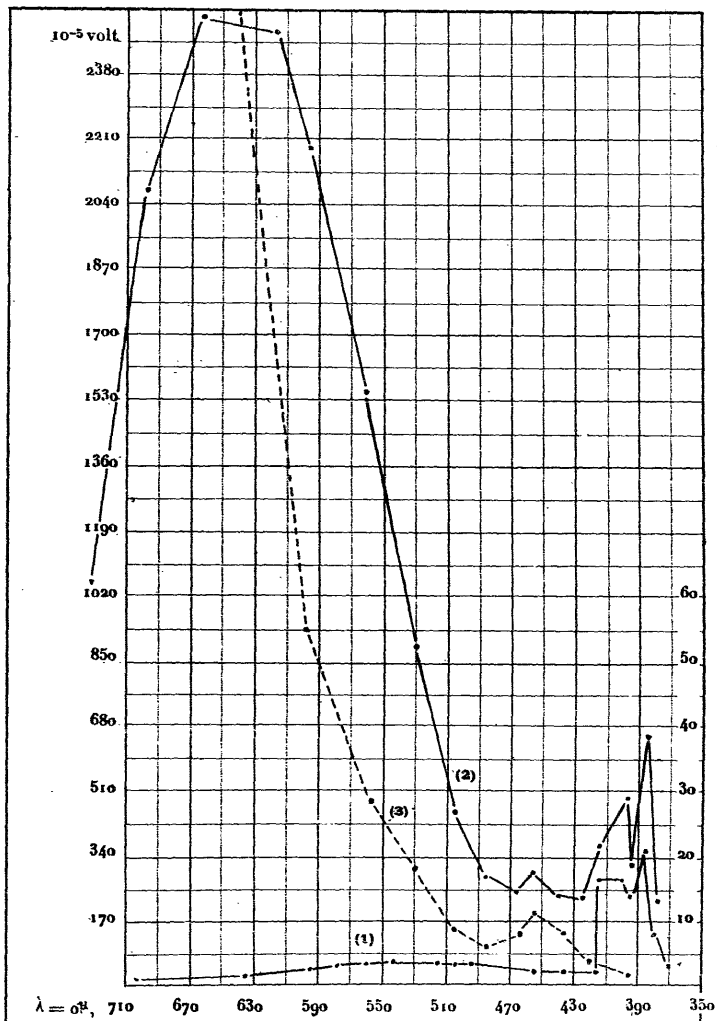
CUIVRE CHLORURÉ ET CYANINE



CUIVRE CHLORURÉ ET VERT MALACHITE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ790	»	330	»
740	»	1030	»
697	5	2070	415
662	10	2540	254
614	»	2480	»
594	40	2190	55
577	52	»	»
560	55	1540	28
545	66	»	»
530	49	900	18,3
517	68	»	»
508	54	440	8,2
496	55	»	»
486	49	290	5,9
476	45	»	»
468	34	251	7,4
460	37	»	»
452	29	303	10,3
438	29	246	8,5
424	46	222	4 8
412	274	380	1 4
401	274	476	1,7
391	210	307	1,5
384	391	630	1,6
377	100	210	2,1
370	38	57	1,5

CUIVRE CHLORURÉ ET VERT MALACHITE



1156, et, deux mois plus tard, 336, c'est-à-dire une force électromotrice encore 22 fois plus grande que celle obtenue avec les lames non teintes.

LAMES DE CUIVRE BROMURÉ TEINTES A LA CYANINE

On a constaté précédemment, en étudiant dans le spectre des lames de cuivre bromuré, que les résultats différaient suivant le mode de préparation. Même remarque quand on traite ces lames par une solution colorée. Les lames, préparées par immersion dans l'eau bromée et conservées jusqu'à ce que les actinomètres indiquent des forces électromotrices toujours de même signe, ne donnent rien de constant quand on les traite par une matière colorante quelconque, par exemple par la cyanine. Tandis qu'en s'adressant aux lames préparées en électrolysant le bromure de potassium, les matières colorantes agissent régulièrement comme sur les composés déjà étudiés.

L'actinomètre en expérience était formé de lames préparées par ce dernier procédé. Le gaz développait une force électromotrice de 18×10^{-5} volt; après immersion dans la solution alcoolique de cyanine on a 900×10^{-5} volt, soit une force électromotrice 50 fois plus considérable. L'effet de la cyanine persiste un certain temps, car, quarante-huit heures après, on retrouve la même force électromotrice dans les mêmes conditions et au bout de deux mois on a encore 300×10^{-5} volt.

Dans le spectre, la force électromotrice la plus grande est égale à 1850×10^{-5} et est observée pour la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},606$.

LAMES DE CUIVRE BROMURÉ TEINTES VERT MALACHITE

Le gaz développait dans l'actinomètre étudié une force électromotrice de 34×10^{-5} volt; après le traitement par le vert ma-

lachite, on observe 1300×10^{-5} volt, c'est-à-dire une force électromotrice 38 fois plus grande. Quarante-huit heures après, la force électromotrice est la même dans les mêmes conditions ; au bout d'un mois, on n'a plus que 250×10^{-5} volt.

Ce sont encore les radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},660$ qui développent la plus grande force électromotrice.

LAMES DE CUIVRE IODURÉ TEINTES A LA CYANINE

La lumière du gaz ne développait qu'une force électromotrice égale à 18×10^{-5} volt avant l'immersion des lames dans la solution de cyanine, tandis qu'après on obtenait 2307×10^{-5} dans les mêmes conditions. La force électromotrice s'est donc trouvée multipliée par 127.

Dans le spectre, on trouve le maximum de force électromotrice vers la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},623$. Elle est de 4820×10^{-5} volt, 150 fois plus grande que lorsque les lames n'étaient pas teintes.

LAMES DE CUIVRE IODURÉ TEINTES VERT MALACHITE

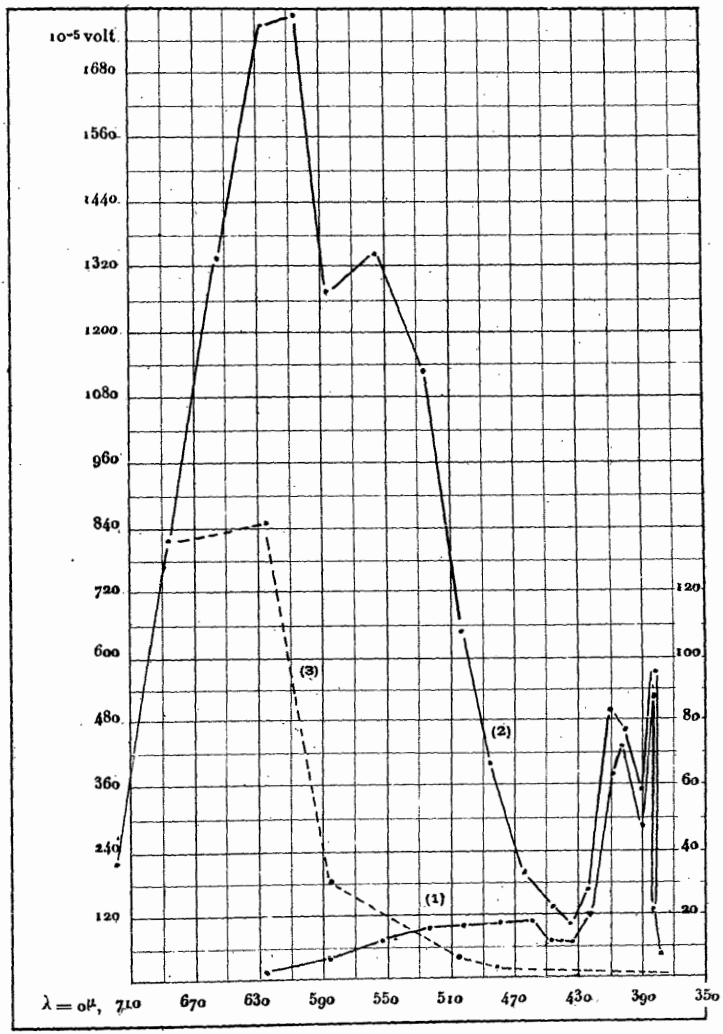
L'actinomètre qui a servi à cette expérience s'est trouvé très sensible à l'action de la lumière : le gaz développait une force électromotrice de 240×10^{-5} volt, après immersion dans la solution de vert malachite, on a 1057×10^{-5} volt, d'où un accroissement de 4,4 du fait de la matière colorante.

Dans le spectre, on retrouve pour les lames teintes le maximum de force électromotrice vers $\lambda = 0^{\mu},660$; pour cette longueur d'onde, la matière colorante multiplie par 29,6 l'effet produit.

CUIVRE BROMURÉ ET CYANINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,720	»	220	»
687	6	0 81	135
651	»	1330	»
627	13	1820	140
606	»	1850	»
589	42	1270	30
550	»	1340	»
527	»	1130	»
503	87	650	7,5
483	97	400	4.1
465	99	200	2
449	63	130	2,6
435	65	110	1,7
421	117	160	1,4
410	386	490	1,3
399	428	450	1,1
390	297	350	1 2
382	550	550	1
375	»	110	»

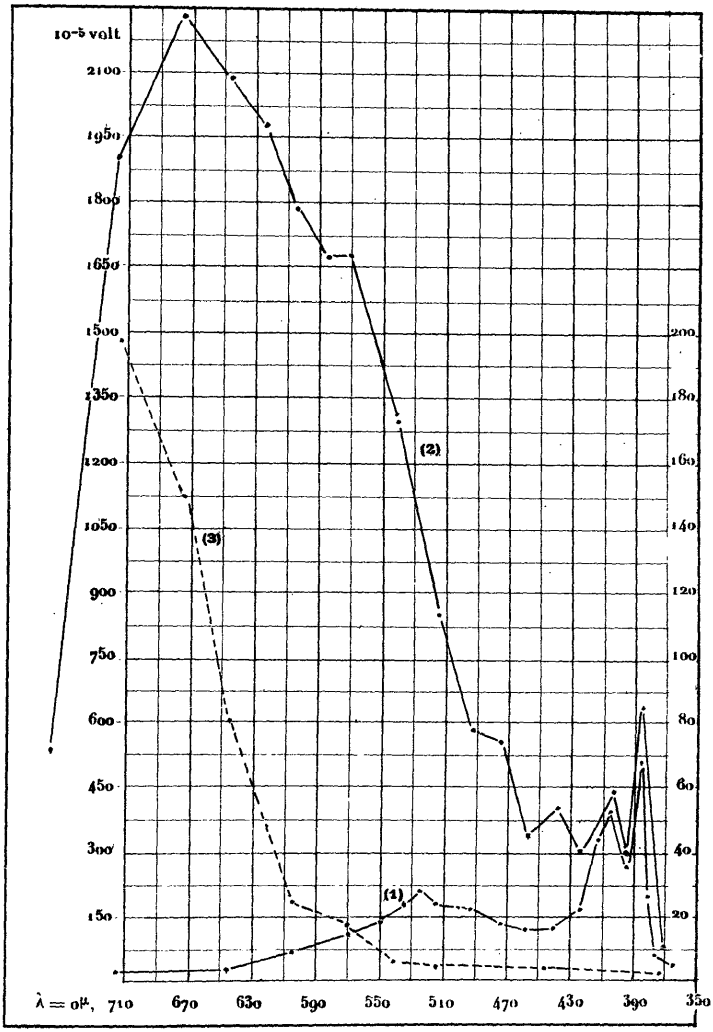
CUIVRE BROMURÉ ET CYANINE



CUIVRE BROMURÉ ET VERT MALACHITE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,760	»	530	»
716	10	1900	190
677	16	2400	150
647	26	2080	80
624	»	1990	»
605	74	1790	24
586	»	1670	»
570	95	1670	17,7
538	180	1290	7,2
513	189	840	4.4
492	167	580	3,5
473	140	550	3.9
456	118	330	2,8
442	128	390	3
428	»	300	»
416	328	350	1,1
404	416	398	»
394	242	»	»
387	506	630	1,2
379	»	40	»

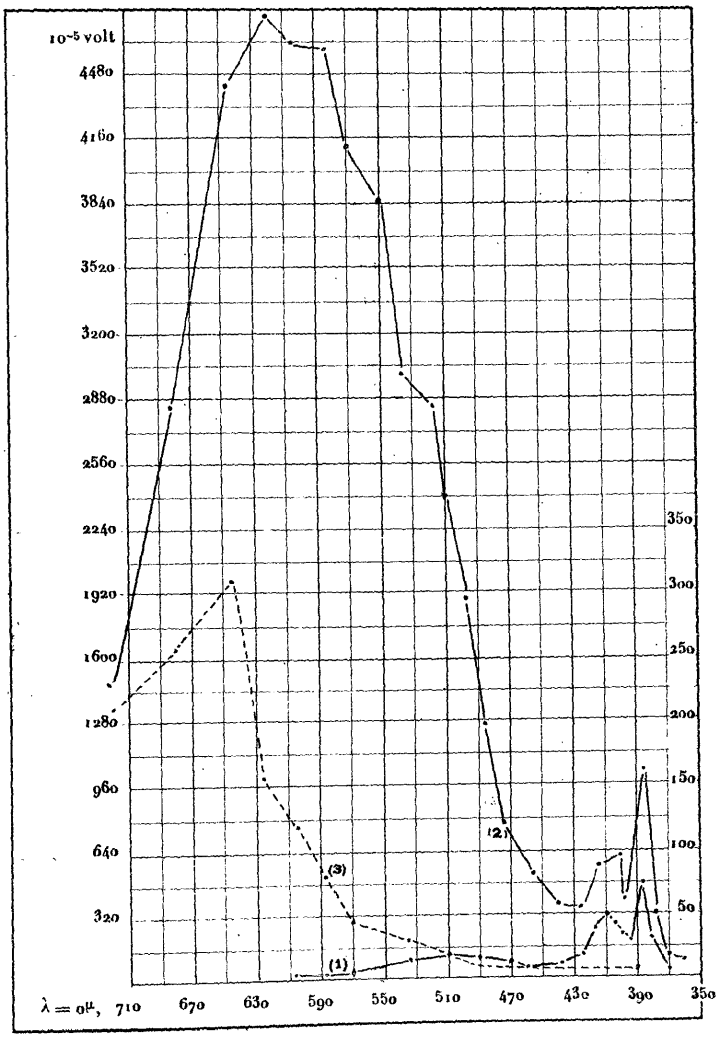
CUIVRE BROMURÉ ET VERT MALACHITE



CUIVRE IODURÉ ET CYANINE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f.é.m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,880	»	200	»
800	»	660	»
720	7	1480	211
680	11	2820	256
646	14	4400	314
623	32	4820	151
604	38	4640	122
587	57	4600	83
570	90	4120	46
551	»	3840	»
534	110	2920	28
520	»	2840	»
510	122	2400	19
499	»	1880	»
488	95	1260	15
480	»	960	»
471	77	720	9
455	58	520	9
440	40	360	9
427	96	340	3,5
415	225	560	2
405	290	620	2,1
395	235	400	1,7
387	460	1040	2,3
378	200	320	1,6
370	40	80	2
363	»	34	»

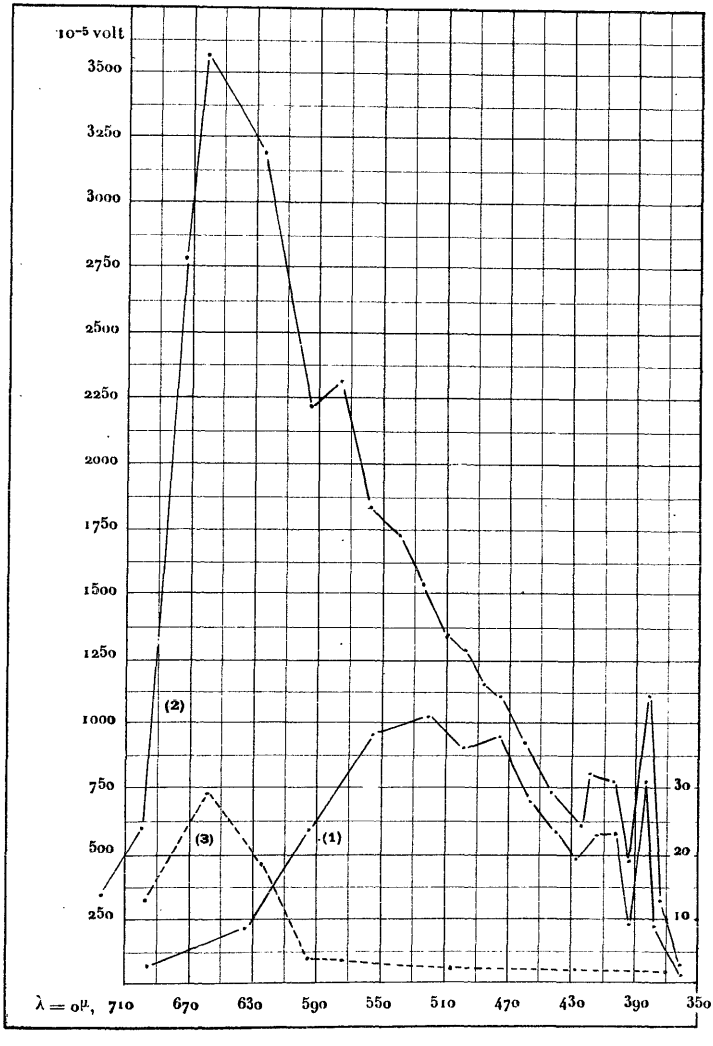
CUIVRE IODURÉ ET CYANINE



CUIVRE IODURÉ ET VERT MALACHITE

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotr. en 10^{-5} volt.		RAPPORT des f. é. m.
	Lames non teintes	Lames teintes	
0μ,698	50	612	12,2
672	»	2790	»
658	125	3700	29,6
624	298	3210	17,7
594	600	2220	3,7
574	800	2370	2,9
556	950	1824	2
540	1000	1723	1,7
525	1030	1550	1,5
510	950	1330	1,4
498	890	1280	1,4
488	970	1180	1,2
476	926	1120	1,2
457	»	910	»
442	560	720	1,3
427	470	600	1,3
415	580	830	1,4
403	540	780	1,4
392	»	479	»
384	780	1110	1,4
376	302	»	»
369	75	76	1

CUIVRE IODURÉ ET VERT MALACHITE



Les résultats des expériences précédentes sont résumés dans le tableau suivant. F indique la valeur maximum, en 10^{-5} volt, de la force électromotrice observée, et λ la longueur d'onde à laquelle correspond cette force électromotrice pour une matière colorante donnée.

Lames de cuivre

MATIÈRES COLORANTES	OXYDÉ		FLUORURÉ		CHLORURÉ		BROMURÉ		IODURÉ	
	F	λ	F	λ	F	λ	F	λ	F	λ
Violet de formyle. .	1724	0μ,618	1414	0μ,610	»	»	»	»	»	»
Violet de méthyle .	1860	622	»	»	»	»	»	»	»	»
Bleu soluble . . .	836	588	»	»	»	»	»	»	»	»
Cyanine.	825	620	1920	620	2400	0μ,620	1850	0μ,606	4820	0μ,623
Vert malachite . .	2260	660	2240	640	2540	662	2400	677	3700	658
Vert brillant . . .	1350	660	»	»	»	»	»	»	»	»
Safranine	688	560	»	»	»	»	»	»	»	»
Eosine	392	554	»	»	»	»	»	»	»	»
Erythrosine . . .	570	560	125	586	»	»	»	»	»	»

Si on classe les actinomètres étudiés par rapport aux longueurs d'onde moyennes pour lesquelles la force électromotrice est maximum en allant des radiations les moins réfrangibles aux radiations les plus réfrangibles, on a le tableau suivant :

LONGUEURS D'ONDE	ACTINOMÈTRES
1μ,04	Argent sulfuré.
660	Etain sulfuré.
657	Composés du cuivre teints au vert malachite.
622	— — au violet de méthyle.
620	— — à la cyanine.
614	— — au violet de formyle.
588	— — au bleu soluble.
570	Cuivre bromuré.
560	Composé du cuivre teint à la safranine.
554	— — à l'éosine.
540	Cuivre chloruré.
472	Cuivre oxydé.
464	Cuivre sulfuré.
460	Etain oxydé.
410	Cuivre ioduré.
Ultra violet	Cuivre fluoruré.

Les expériences qui viennent d'être rapportées ne sont pas les seules qui aient été faites ; on a étudié également pour les diverses radiations du spectre l'action des matières colorantes suivantes :

1° Sur les actinomètres à cuivre oxydé : Vert acide, vert solide cristaux, écarlate B ;

2° Sur les actinomètres à cuivre chloruré : Violet de formyle, érythrosine, écarlate B.

3° Sur les actinomètres à cuivre bromuré : Violet de formyle, violet de méthyle, bleu soluble, érythrosine ;

4° Sur les actinomètres à cuivre ioduré : Violet de formyle, violet de méthyle, bleu soluble, vert acide, vert solide, safranine, éosine, érythrosine.

Les résultats observés sont analogues à ceux qui ont été obtenus avec les mêmes matières colorantes dans les expériences détaillées plus haut.

On voit que, pour le vert malachite et la cyanine qui ont servi dans les essais précédents à traiter tous les composés du cuivre étudiés, l'accroissement de force électromotrice est général pour toutes les longueurs d'onde et que l'accroissement maximum dans tous les cas correspond aux mêmes radiations; même remarque pour le violet de formyle et l'érythrosine dont l'étude a été commune aux composés oxydés et fluorurés du cuivre.

Dans tous les cas, soit que l'on considère l'accroissement maximum de la force électromotrice dû à la matière colorante ou la force électromotrice maximum observée avec les lames teintes, dans la région du spectre voisine de la bande d'absorption, on constate toujours que l'effet produit par la matière colorante a lieu pour des longueurs d'onde plus grandes [1] que celles qui correspondent au maximum d'absorption.

Dans le tableau suivant sont résumées pour chaque matière colorante les données relatives à la position dans le spectre des longueurs d'onde correspondant au rapport maximum des forces électromotrices après et avant l'action de la matière colorante, au maximum des forces électromotrices observées avec les lames teintes et au maximum d'absorption de la solution colorée.

[1] A rapprocher de ce fait la remarque de M. J.-J. Acworth pour les composés haloïdes d'argent : d'une manière générale M. Acworth trouve que les maxima d'absorption et de sensibilité photographique, déterminés sur une même plaque, ne coïncident pas entre eux; les maxima d'absorption sont déplacés vers la partie la plus réfrangible du spectre (*Wied. Ann*, t. XLII, p 370, 1891).

MATIÈRES COLORANTES	LONGUEURS D'ONDE Maximum du rapport des f. é. m.	de la force électromotrice	Maximum d'absorption.
Violet de formyle. .	0μ,605	0μ,618	0μ,564
Violet de méthyle .	622	622	583
Bleu soluble . . .	660	588	583
Cyanine	623	620	604
Vert malachite . .	740	660	619
Vert brillant . . .	660	660	625
Safranine	560	560	535
Eosine	594	554	526
Erythrosine . . .	»	550	530

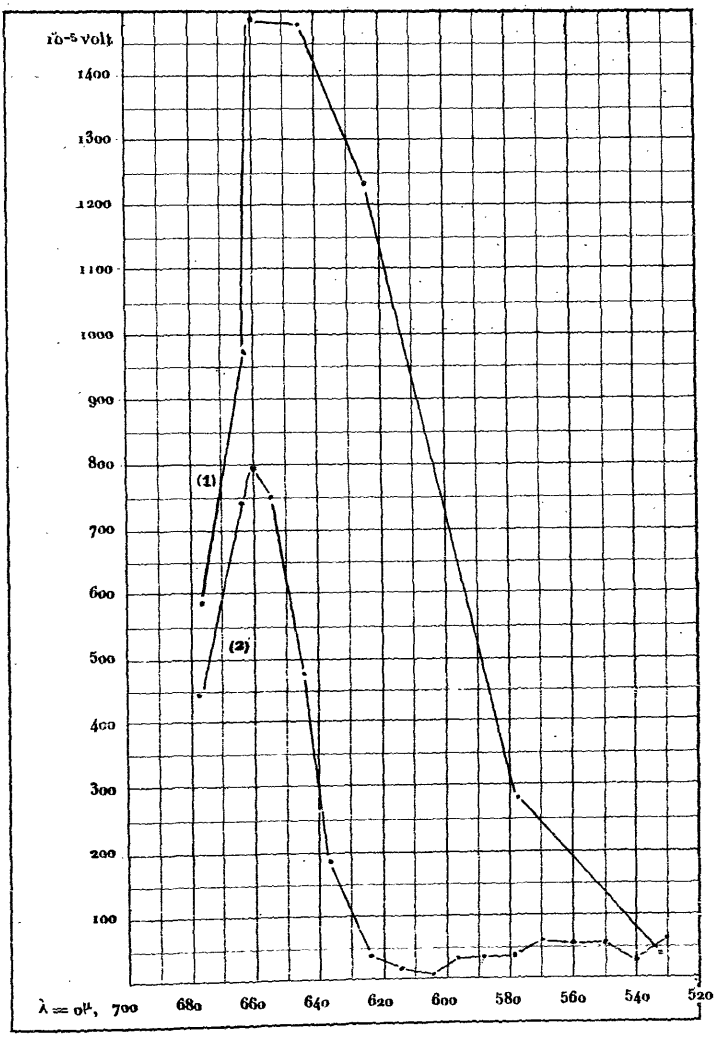
La position du maximum d'absorption se détermine très exactement au spectrophotomètre puisqu'on peut isoler une région du spectre correspondant à un très petit nombre de longueurs d'onde, il n'en est pas de même de la position du maximum de la force électromotrice dû à la matière colorante : la fente lumineuse a en général 2 millimètres de largeur, les lames de 3 à 4 millimètres, le spectre visible s'étendant sur une longueur de 180 millimètres environ, la lame est recouverte en moyenne par $\frac{1}{50}$ du spectre et, étant donné le peu de dispersion des radiations de grandes longueurs d'onde par un prisme, les mesures faites dans la région la moins réfrangible manquent d'exactitude ; de plus, si l'on considère que la plupart des mesures rapportées ont été obtenues en se servant comme source lumineuse de l'arc électrique, source à intensité brusquement variable quelque soin qu'on prenne, on comprend que les nombres inscrits dans les tableaux précédents ne peuvent qu'être exacts à quelques longueurs d'onde près : de là la nécessité de vérifier directement que l'effet maximum produit par la matière colorante et le maximum d'absorption n'ont pas lieu pour les mêmes longueurs d'onde.

Dans ce but, on a interposé sur le trajet du faisceau lumineux une cuve contenant une solution de la matière colorante même qui a servi à sensibiliser les lames en expérience, puis

Actinomètre à lames de cuivre oxydé, teintes vert malachite, éclairé à travers une cuve contenant : n° 1, de l'eau ; n° 2, une solution aqueuse de vert malachite.

LONGUEURS D'ONDE	Forces électromotrices en 10^{-5} volt.	
	N° 1	N° 2
0μ,675	630	460
664	974	740
660	1490	795
655	1475	750
646	1450	460
635	1365	190
626	1240	45
614	1000	12
598	610	22
589	425	35
579	280	40
570	215	60
560	155	55
550	115	54
540	75	30

Actinomètre à lames de cuivre oxydé teintes vert malachite, éclairé à travers une cuve contenant : n° 1, de l'eau ; n° 2, une solution aqueuse de vert malachite,



étudié l'actinomètre dans ce faisceau dispersé. Les recherches ont porté sur quatre matières colorantes : Violet de formyle, vert malachite, safranine, érythrosine, et ont pu être faites à la lumière solaire avec le réseau Rowland ; une expérience préliminaire faite avec la même cuve ne contenant que le dissolvant permettait de ne tenir compte que de l'effet de la matière colorante. Les lames employées étaient de cuivre oxydé. Les résultats obtenus ont été concordants et absolument concluants ; on constate toujours que l'actinomètre présente son maximum de sensibilité avant de pénétrer dans la bande obscure qui se projette sur la règle le long de laquelle il se meut, bande due à l'absorption de la matière colorante employée. Si le maximum de sensibilité et le maximum d'absorption avaient lieu pour les mêmes longueurs d'onde, on n'aurait plus trouvé trace de l'accroissement de force électromotrice observée avant l'interposition de la solution.

Les courbes ci-contre représentent l'expérience relative au vert malachite.

L'actinomètre sensibilisé par le vert malachite a été étudié dans le spectre ; le faisceau lumineux traversant la cuve pleine d'eau, on a tracé la courbe n° 1 ; traversant la solution de vert malachite on a tracé la courbe n° 2. On voit que le faisceau est généralement affaibli par son passage à travers la solution colorée, mais le maximum de sensibilité subsiste à $\lambda = 0^{\mu},660$; le maximum d'absorption correspondant à la partie centrale de la bande est très visible vers $\lambda = 0^{\mu},606$.

APPLICATIONS DIVERSES DES ACTINOMÈTRES

Dans tous les actinomètres étudiés précédemment, à lames teintes ou non, la force électromotrice due à un éclairement donné cesse en même temps que cet éclairement, l'effet est instantané; ces appareils trouveront donc quelque emploi chaque fois qu'on pourra utiliser ces variations brusques de force électromotrice. Ainsi, un quelconque de ces actinomètres peut être employé comme récepteur radiophonique. On joint l'actinomètre à un téléphone et sur l'une des lames, on fait tomber un faisceau lumineux intercepté périodiquement d'une manière quelconque; si le nombre des périodes est suffisamment grand par seconde, on entend au téléphone un son dont la hauteur dépend naturellement du nombre des périodes. MM. G. Chaperon et Mercadier[1] ont employé comme radiophone un actinomètre à lames d'argent sulfuré de leur construction et l'actinomètre à lames de cuivre oxydé dont M. Gouy et moi avons indiqué la préparation.

Cette obéissance instantanée à un signal lumineux permet également de se servir de ces actinomètres pour commander un relais. Etant donné la faible force électromotrice dont on dispose, on ne peut se servir de relais télégraphiques ordinaires, relais dont les plus sensibles nécessitent une intensité minimum de 2 à 3 milliampères et dont la résistance est en moyenne de 250 ω. Il faut alors employer un galvanomètre à cadre mobile

[1] G. Chaperon et E. Mercadier, Sur la Radiophonie électrochimique (*C. R.*, t. CVI, p. 1595, 1888).

et profiter du mouvement du cadre pour fermer la pile locale sur une sonnerie ou un appareil télégraphique : un rayon lumineux suffisamment intense provenant d'une station quelconque reçu sur un actinomètre actionnera de cette façon les appareils en question. Si la station est éloignée, on emploiera une lunette astronomique en remplaçant l'oculaire par un tube portant l'actinomètre.

Au point de vue photométrique, on trouve les applications les plus intéressantes en se reportant à l'étude dans le spectre des actinomètres à lames teintes ou non.

Quand on veut comparer l'intensité de deux foyers lumineux en se placant au point de vue de l'éclairage, qui n'est apprécié par l'observateur que par l'impression sur la rétine, impression dépendant non seulement de l'intensité, mais aussi des longueurs d'onde des diverses radiations[1] constituant la source, l'œil est naturellement le seul juge et aucun actinomètre ne peut le remplacer ; il ne faut donc pas songer, pour la photométrie industrielle, à employer un actinomètre quel qu'il soit, car l'appareil choisi ne verra pas les mêmes radiations de la même manière que l'œil.

Mais si la comparaison porte sur un groupe restreint de radiations définies, deux procédés se présentent : ou isoler ces radiations dans chaque source et les comparer, ou choisir un œil artificiel ne voyant dans la lumière reçue que les radiations en question. On peut isoler ces radiations en employant un spectrophotomètre, procédé exact mais long et dont l'emploi n'est pas toujours possible, ou encore en se servant de verres colorés ou de solutions convenablement choisies, ne laissant tomber sur le photomètre que le groupe de radiations à étudier ; dans ce cas, on rencontre de nouvelles difficultés, les solutions ou verres colorés présentant en général dans le spectre une ou plusieurs bandes d'absorption et laissant passer divers groupes de radiations.

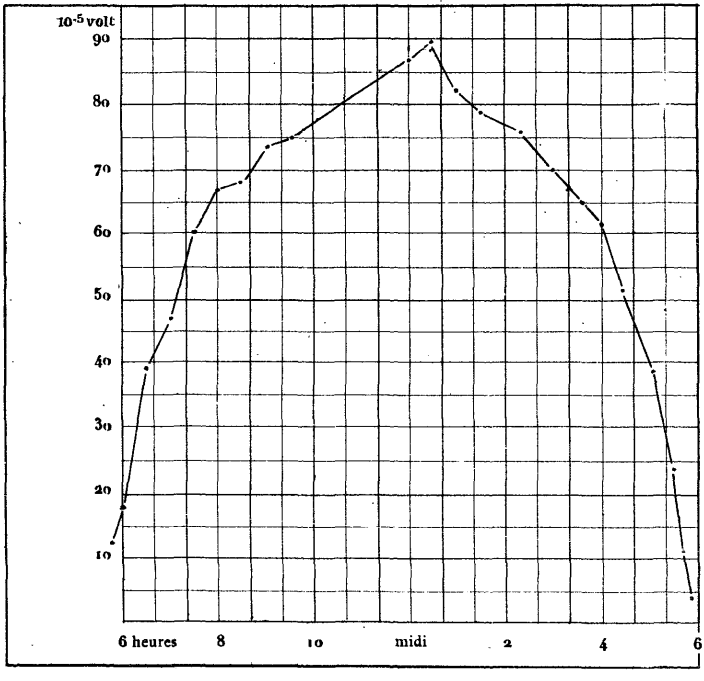
[1] Helmholtz, *Pogg. Ann.*, t. XCIV, p. 18-21.

Le second procédé est directement applicable au moyen des actinomètres. Chaque actinomètre est en effet sensible surtout pour une région du spectre limitée ; et, suivant l'actinomètre choisi ou la matière colorante employée, la sensibilité maximum correspond à telle ou telle région du spectre, depuis $\lambda = 0^{\mu},370$ jusqu'à $\lambda = 1^{\mu},32$. L'actinomètre joue donc le même rôle qu'un œil qui, recevant un faisceau de lumière blanche, ne verrait qu'un groupe de radiations et serait aveugle, insensible pour toutes les autres. Par conséquent, dans une expérience photométrique, suivant les longueurs d'onde des radiations qu'on voudra comparer dans deux sources données, on choisira un actinomètre sensible seulement pour ces radiations. Pour des expériences de mesure, il faudra avoir le plus grand soin de constater, de temps en temps, que l'actinomètre en service a la même force électromotrice pour un même éclairement. On prendra, par exemple comme source type un bec de gaz brûlant dans certaines conditions ou la lampe Carcel brûlant 42 grammes d'huile à l'heure.

L'actinomètre à lames de cuivre oxydé a été employé dans une série d'expériences photométriques pour étudier la lumière diffusée par la partie nord du ciel aux différentes heures du jour. Placé dans une caisse de bois noirci, dont l'une des faces est munie d'une ouverture fermée par un volet glissant dans une coulisse, il était orienté perpendiculairement à l'axe du monde. En ouvrant le volet de temps en temps et notant les déviations observées, on a pu construire une courbe en prenant comme abscisses l'époque de l'ouverture et comme ordonnées les forces électromotrices correspondantes.

Les nombres ci-dessus ont été obtenus dans une expérience qui, grâce à un ciel remarquablement pur, a pu continuer de 6 heures du matin à 6 heures du soir; le maximum de force électromotrice a été observé à peu près à midi et demi et la courbe est sensiblement symétrique par rapport à ce maximum pour les différentes heures du jour. Étant donné que l'actinomètre qui a servi est surtout sensible pour des radiations grou-

OUVERTURE	F. é. m. en 10^{-5} volt	OUVERTURE	F. é. m. en 10^{-5} volt
$5^h 50^m$ matin	12	1^h	83
6^h —	18	$1^h 30^m$	77
$6^h 30^m$ —	39	$2^h 30^m$	76
7^h —	48	3^h	70
$7^h 40^m$ —	60	$3^h 30^m$	65
8^h —	67	4^h	62
$8^h 30^m$ —	68	$4^h 30^m$	52
9^h —	74	5^h	39
$9^h 30^m$ —	75	$5^h 30^m$	24
12^h —	88	$5^h 45^m$	12
$12^h 30^m$ soir	89	6^h	5



pées autour de $\lambda = 0^{\mu},472$, on ne peut, de cette expérience, tirer des conclusions que pour ce groupe de radiations ; on dira que cette partie du spectre est transmise, après diffusion, par l'atmosphère en plus grande partie à midi et demi qu'à tout autre heure de la journée, du moins à cette époque de l'année (17 septembre).

L'œil ayant de son côté une sensibilité maximum pour les radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},500$ [1], on peut donc, jusqu'à un certain point, admettre que les indications photométriques fournies par l'œil seraient analogues, pour la même région du ciel, à celles données par l'actinomètre.

Mais si l'on avait employé le même actinomètre sensibilisé, par exemple avec la cyanine (sensibilité maximum à $\lambda = 0^{\mu},620$) ou un autre actinomètre : soit celui à lames d'étain sulfuré (sensibilité maximum $\lambda = 0^{\mu},660$), ou celui à lames de cuivre fluoruré, surtout sensible pour les rayons ultra-violets, le résultat eût été tout autre et on aurait été renseigné sur la transmission par l'atmosphère des radiations correspondantes dans les conditions de l'expérience.

On voit qu'un choix judicieux parmi les actinomètres étudiés peut conduire à en adopter un qui rendra quelques services dans des conditions parfaitement déterminées.

Dans le même ordre d'idées, on peut avec avantage se servir d'un actinomètre pour la comparaison photométrique de deux sources lumineuses de teintes différentes.

Ici l'emploi d'un spectrophotomètre paraît tout indiqué : on fera en sorte que deux radiations de même longueur d'onde prises dans chacune des sources aient une même intensité, soit en modifiant la distance d'une des sources, soit en modifiant la largeur de la fente donnant accès à la lumière et parcourant le

[1] Langley a recherché les longueurs d'onde pour lesquelles, à énergie constante, l'œil a une sensibilité maximum ; les expériences faites sur trois collaborateurs l'ont amené à indiquer les radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},500$ (*American Journal*, 3e série, t. XXXVI, p. 359).

spectre on prendra le rapport des intensités des mêmes radiations dans chaque source, puis construisant une courbe en portant en abscisses les longueurs d'onde et en ordonnées les valeurs des rapports précédents on aura une idée très nette de la composition relative des deux sources comparées.

Seulement, lorsqu'on s'adresse à la partie la plus réfrangible du spectre, les mesures deviennent de moins en moins précises et on ne peut guère dépasser, dans une étude spectrophotométrique, la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},480$; par conséquent, les sources ne sont comparées, définies l'une par rapport à l'autre, que dans la partie la moins réfrangible du spectre et on ne sait rien sur toute une série de radiations qui pourtant ont une grande importance dans certaines applications.

M. A. Crova[1] a montré que la comparaison des pouvoirs éclairants relatifs de la lumière du soleil et de celle de la lampe Carcel se réduit à la mesure des intensités relatives de la radiation $\lambda = 0^{\mu},582$, ce sont ces radiations qu'on prendra égales au spectrophotomètre. Au lieu de comparer dans toute l'étendue du spectre deux sources au spectrophotomètre, on peut se contenter d'isoler deux séries de radiations de chaque source et d'en prendre le rapport, c'est à cela que s'est arrêté le Congrès des Electriciens en 1889, en prenant la résolution suivante :

« Le degré d'incandescence d'une lampe est le quotient des intensités (relatives à la Carcel) des radiations de la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},582$ et des radiations de la longueur d'onde $\lambda = 0^{\mu},657$.

« Pour le déterminer, la lampe est comparée à un Carcel en plaçant devant l'œil une cuve remplie sous une épaisseur de 7 millimètres d'une solution de chlorure de nickel et de fer laissant passer une lumière dont la longueur d'onde est voisine de $\lambda = 0^{\mu},582$. La même mesure est recommencée en plaçant devant l'œil un verre rouge laissant passer une lumière dont la

[1] *Ann. de Ch. et de Ph.*, 6e série, t. VI, p. 528

longueur d'onde est voisine de $\lambda = 0^{\mu},687$, le rapport $\frac{I_{582}}{I_{687}}$ définit le degré d'incandescence. »

C'est, en somme, la méthode du spectrophotomètre très simplifiée, réduite à deux mesures et applicable à tout photomètre.

Si on pouvait faire une troisième mesure dans la partie la plus réfrangible du spectre et prendre le rapport de l'intensité dans cette région à l'intensité des radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},582$, on aurait ainsi défini la lumière pour cette partie du spectre.

Ce dernier rapport pourrait s'appeler le *degré actinique* de la source lumineuse.

L'œil étant impuissant à juger de l'intensité des radiations en question, il suffit de choisir un actinomètre sensible aux radiations violettes et ultra-violettes ainsi qu'aux radiations voisines de $\lambda = 0^{\mu},582$. Parmi les actinomètres étudiés, un présente les conditions requises, c'est l'actinomètre formé avec les lames de cuivre fluoruré et teintes à l'érythrosine.

Si on se reporte à l'étude qui en a été faite dans le spectre, on voit qu'il présente un premier maximum vers $\lambda = 0^{\mu},580$ et un autre beaucoup plus grand vers $0^{\mu},380$.

La détermination du *degré actinique* d'une flamme se fait de la façon suivante : une fente pratiquée dans un carton noir est éclairée successivement par une lampe Carcel et par la source à étudier, une lentille projette cette fente sur la lame de l'actinomètre. La lampe Carcel éclairant la fente, on place devant l'actinomètre une cuve de 7 millimètres d'épaisseur contenant la solution Crova, on note la force électromotrice développée e, on enlève la cuve, on recommence l'expérience, on note e_1. On éclaire ensuite la fente par la source à étudier et on dispose la source de manière que les rayons traversant la cuve développent la même force électromotrice e, on enlève la cuve, on obtient e_2.

Le *degré actinique* sera donné par $\frac{e_2}{e_1}$.

Degré actinique de quelques sources lumineuses.

e_1 Déviation du point lumineux, la lampe Carcel-type éclairant l'actinomètre.

e_2 Déviation du point lumineux, les sources en expériences éclairant l'actinomètre.

	e_2	e_1	Degré actinique. $\frac{e_2}{e_1}$
(1) Bec de gaz	39	39	1
(2) Bec Auer, n° 0	42	39	1,08
(3) — n° 1	43	39	1,10
(4) — n° 2	43,5	39	1,12
(5) Lumière Drummond . .	48	40	1,20
(6) — — . .	60	40	1,50
(7) — — . .	60	40	1,50
(8) Lampe au magnésium . .	107	39	2,72
(9) Arc électrique, 8 amp. .	106	40	2,70
— 15 — . .	120	39	3,08
— 17 — . .	125	39	3,2
— 18 — . .	130	39	3,3

(1) Bec à couronne en stéatite brûlant 240 litres de gaz à l'heure, pouvoir éclairant $2^{car},9$.

(2) Consommation à l'heure.	50 litres.	Pouvoir éclairant .	$1^{car},8$
(3) — —	75 —	—	4, 3
(4) — —	111 —	—	5, 7
(5) Pression de l'oxygène,	50 $^{m}/^{m}$ d'eau.	Pression du gaz d'éclair.	38 $^{m}/^{m}$
(6) —	85 —	—	38
(7) —	158 —	—	38

(8) Lampe à ruban de magnésium, un seul ruban de $2^{mm},5$ de largeur.

(9) Régulateur Foucault et charbon de 11 millimètres de diamètre.

Pour obtenir, avec la lampe et la source, la même force électromotrice quand la cuve est interposée, si les intensités ne sont pas trop différentes, on éloigne plus ou moins la source de la fente ; dans le cas d'intensités très différentes, on place devant la fente un disque vertical pouvant être animé, au moyen d'un petit moteur électrique, d'un mouvement de rota-

tion très rapide autour d'un axe passant par son centre, on évide dans ce disque un secteur d'un angle connu α, le rapport de la quantité de lumière tombant sur l'actinomètre à la quantité de lumière émise par la source (dans la même direction) est donné par $\frac{\alpha}{2\pi}$.

Le tableau ci-contre résume quelques déterminations de *degré actinique*. Toutes les lumières étudiées ont été placées à une distance de la fente projetée sur l'actinomètre telle que, la cuve Crova interposée, la déviation du point lumineux du galvanomètre soit de 5 divisions sur l'échelle.

On voit que les becs Auer diffèrent très peu des becs de gaz ordinaires au point de vue des radiations les plus réfrangibles.

Pour la lumière Drummond, le *degré actinique* croît d'abord avec la pression de l'oxygène, puis arrive à une valeur qu'une pression plus grande n'augmente plus.

Quant à l'arc électrique, le *degré actinique* croît à peu près proportionnellement à l'intensité du courant, du moins dans les limites dans lesquelles les expériences ont été faites.

On a également expérimenté une lampe à incandescence de 16 bougies (57 volts, $1^a,3$), le *degré actinique* a été 1,10 ; ce chiffre ne figure pas dans le tableau ci-contre parce qu'il ne se rapporte qu'à la lampe employée : la composition des radiations d'une lampe à incandescence ne dépendant pas seulement des watts employés, mais encore de la résistance et de la nature de la fibre.

Par ces quelques exemples, on voit le parti que l'on peut tirer des actinomètres étudiés dans ce travail.

RÉSUMÉ

De l'ensemble de ce travail, il se dégage les faits suivants :

1° Les lames de cuivre oxydé, sulfuré, fluoruré, chloruré, bromuré, ioduré, les lames d'étain oxydé, sulfuré, les lames d'argent sulfuré peuvent dans certaines conditions former des actinomètres très sensibles à l'action de la lumière.

2° Pour un actinomètre donné, toutes les autres conditions étant égales, la force électromotrice développée dépend de l'électrolyte.

3° Dans le spectre, chaque actinomètre présente un maximum de sensibilité pour une longueur d'onde ne dépendant que de la nature de la couche sensible et indépendant de l'électrolyte.

4° Quand on plonge les lames d'un actinomètre à lames de cuivre oxydé, fluoruré, chloruré, bromuré ou ioduré, dans une solution des matières colorantes étudiées, la force électromotrice se trouve augmentée pour un éclairement donné. Dans le spectre on constate que la force électromotrice s'accroît pour toutes les radiations, mais présente un maximum pour une certaine longueur d'onde dépendant du choix de la matière colorante. La position de ce maximum est indépendante du composé de cuivre formant l'actinomètre.

5° Dans le spectre, pour un actinomètre à lames teintes, le maximum de force électromotrice dû à la matière colorante a toujours lieu pour des radiations de longueurs d'onde plus grandes que celles correspondant au maximum d'absorption pour la lumière de la même matière colorante.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction 5

Historique. 7

Disposition générale des expériences. 12

PREMIÈRE PARTIE. — Etude en lumière blanche. 15

Lames de cuivre oxydé. 18

— — sulfuré. 23

— — fluoruré. 24

— — chloruré 25

— — bromuré 27

— — ioduré. 28

Lames d'étain oxydé. 30

— — sulfuré 31

Lames d'argent sulfuré. 31

DEUXIÈME PARTIE. — Etude dans le spectre. 34

Lame de cuivre oxydé. 34

— — sulfuré. 35

— — fluoruré. 40

— — chloruré 40

— — bromuré 46

— — ioduré 54

Lames d'étain oxydé. 54

— — sulfuré 55

Lames d'argent sulfuré. 55

TROISIÈME PARTIE. — Action des matières colorantes 61

Étude des matières colorantes au spectrophotomètre 62

Lames de cuivre oxydé teintes au violet de formyle 67

— — — au violet de méthyle 70

— — — au bleu soluble. 71

— — — à la cyanine. 80

— — — au vert malachite. 80

Lames de cuivre oxydé teintes au vert brillant. 81
— — — au jaune métanile. 81
— — — à la safranine 86
Lames de cuivre oxydé teintes à l'éosine. 87
— — — à l'érythrosine. 87
Lames de cuivre fluoruré teintes au violet de formyle 94
— — — à la cyanine 94
— — — au vert malachite 94
— — — à l'érythrosine 95
Lames de cuivre chloruré teintes à la cyanine. 104
— — — au vert malachite. 104
Lames de cuivre bromuré teintes à la cyanine. 110
— — — au vert malachite 110
Lames de cuivre ioduré teintes à la cyanine. 111
— — — au vert malachite. 111
Applications diverses des actinomètres. 127
Résumé 136

ÉCOLE CENTRALE LYONNAISE
ÉCOLE INDUSTRIELLE

Lyon. — Imp. Pitrat Aîné, A. Rey Successeur, 4, rue Gentil. — 14992.