

C. CAMICHEL

Étude expérimentale des actions photographiques

Annales de la faculté des sciences de Toulouse 2^e série, tome 5, n° 3 (1903), p. 323-351

[<http://www.numdam.org/item?id=AFST_1903_2_5_3_323_0>](http://www.numdam.org/item?id=AFST_1903_2_5_3_323_0)

© Université Paul Sabatier, 1903, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales de la faculté des sciences de Toulouse » (<http://picard.ups-tlse.fr/~annales/>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

DES

ACTIONS PHOTOGRAPHIQUES,

PAR M. C. CAMICHEL.

INTRODUCTION.

L'étude des actions photographiques présente un grand intérêt par elle-même et par ses applications. Parmi celles-ci, j'ai étudié spécialement la Spectrophotométrie.

La Photographie peut rendre de grands services, pour la photométrie des radiations lumineuses, ultra-violettes et même infra-rouges, comme l'a montré M. A. Cotton dans un travail du plus grand intérêt (*Sur la photométrie chimique et photographique* : Congrès de Montauban de l'Association française pour l'avancement des Sciences, août 1902) ⁽¹⁾.

Pour se rendre compte de la difficulté des méthodes spectrophotométriques dans l'ultra-violet, il suffit de prendre un exemple : M. Soret a fait des recherches très importantes sur l'absorption des rayons ultra-violets (*Archives de Genève*, t. IX, 1883); il détermine l'épaisseur sous laquelle cesse d'être perceptible telle ou telle raie d'un métal, que l'on emploie comme source de lumière, et il obtient ainsi une courbe dont les ordonnées sont les épaisseurs du liquide étudié, qui produisent l'extinction des diverses raies métalliques et les abscisses les longueurs d'onde des radiations correspondantes. Ces courbes donnent de précieuses indications sur les variations de l'absorption avec la réfrangibilité et M. Soret a montré tout le parti qu'on pouvait en tirer; mais il reconnaît lui-même que l'on ne peut pas déduire de ces mesures la valeur absolue des coefficients d'absorption, et il énumère les diverses causes d'erreur :

La lumière produite par les étincelles d'induction est variable. L'intensité de la fluorescence, produite par une lumière de réfrangibilité déterminée, ne peut

⁽¹⁾ Le Mémoire de M. Cotton est résumé dans le n° 37 de l'*Éclairage électrique*, t. XXXII, septembre 1902.

pas être considérée comme constante en tout temps, au moins lorsqu'on emploie des lames liquides telles que l'esculine. La sensibilité de l'œil varie suivant les circonstances et suivant l'opérateur. Les diverses raies des spectres métalliques sont d'intensités très différentes, d'où résulte qu'à égalité de coefficients d'absorption l'épaisseur amenant l'extinction est plus grande pour les raies très brillantes que pour celles qui le sont moins. L'intensité de la fluorescence est variable suivant la réfrangibilité.

La méthode photographique permet, comme je me propose de le démontrer, de faire des mesures précises dans le spectre ultra-violet; les obstacles à vaincre ne tiennent pas à la méthode, mais à la difficulté de maintenir constantes des sources de lumière ayant un spectre ultra-violet étendu.

Dans le spectre lumineux, pour peu qu'on fasse des mesures photométriques, on constate rapidement la difficulté des mesures dans le bleu et le violet; au contraire, les déterminations se font aisément dans le rouge ⁽¹⁾, l'orangé, le jaune et surtout le vert. La Photographie sera donc utile pour les radiations lumineuses les plus réfrangibles.

Enfin, dans l'infra-rouge, on peut, comme M. Cotton l'a proposé ⁽²⁾, utiliser le phénomène découvert par M. Villard : la destruction par les radiations infra-rouges et lumineuses du voile produit sur la plaque photographique par les rayons X.

Pour bien montrer la difficulté des méthodes qui ont été proposées pour la photométrie des radiations lumineuses et ultra-violettes, je citerai un deuxième exemple : l'emploi du mélange de chlore et d'hydrogène.

Bunsen et Roscoe, dans leur travail classique sur cette question, ont constaté qu'il est nécessaire d'employer au moins 3 jours et même plus pour préparer l'appareil avant de commencer les expériences; qu'il faut maintenir la température des gaz parfaitement constante de manière que les changements de volume dus à la dilatation ne se confondent pas avec les effets de l'action chimique; d'ailleurs la présence d'un excès de chlore ou d'hydrogène ou d'un gaz étranger retarde la combinaison du chlore et de l'hydrogène produite par la lumière : ainsi, il suffit de la présence de quelques millièmes en volume de gaz oxygène, hydrogène ou chlore pour produire un effet marqué; le gaz oxygène surtout donne des retards très grands.

Les difficultés de cette méthode sont manifestes.

La méthode photographique présente au contraire une grande simplicité, mais on lui adresse quelques reproches : d'abord, la loi suivant laquelle l'impression

⁽¹⁾ Dans mon travail sur les indophénols (*Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, 1901), j'ai constaté que l'on pouvait faire de très bonnes mesures dans le rouge, sans aucune fatigue.

⁽²⁾ A. COTTON (*loc. cit.*).

photographique varie avec l'intensité de la radiation est complexe et d'ailleurs inconnue; cette impression dépend de la plaque employée, du voile qu'elle a pu subir, des circonstances du développement, et même, d'après l'opinion la plus répandue, les diverses régions d'une plaque déterminée possèdent des sensibilités tout à fait distinctes, dont on peut dire seulement qu'elles varient d'une façon continue.

Le travail qui va suivre est destiné à répondre à ces diverses objections; je montre que l'on peut instituer une méthode photométrique, fondée sur l'emploi des plaques photographiques, même de celles dont la sensibilité n'est pas constante par suite de leur fabrication, de la nature de l'émulsion, de son épaisseur variable, ou de circonstances accidentelles qui peuvent comme le voile altérer la sensibilité. Cette méthode exige seulement que l'hétérogénéité soit continue dans un intervalle de quelques millimètres, condition qui est toujours largement réalisée; bien plus, l'expérience montre que les plaques que l'on trouve actuellement dans le commerce, par exemple les plaques Lumière, marque bleue ⁽¹⁾, sont sauf de très rares exceptions d'une remarquable homogénéité, si l'on a soin d'éliminer soigneusement différentes causes d'erreurs dont la plus grande est la variation de la source de lumière employée pour faire sur une même plaque diverses impressions voisines. Je puis dire que, chaque fois que sur une plaque non voilée, j'ai trouvé une discontinuité notable dans l'homogénéité, j'ai retrouvé dans la source de lumière employée une variation correspondante.

Le travail dont l'exposé va suivre comprend :

I. Une étude du degré d'homogénéité des plaques photographiques du commerce.

II. La description d'une méthode photométrique fondée sur la Photographie.

— Détails expérimentaux :

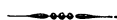
- a.* Source de lumière maintenue constante;
- b.* Obturateur permettant de faire des durées de pose bien connues;
- c.* Châssis à mouvement micrométrique destiné à un double usage : impressionner la plaque et étudier celle-ci après son développement;
- d.* Moyens d'atténuation employés, détermination du zéro d'une fente;
- e.* Précautions à prendre dans le développement, choix de la plaque;
- f.* Exemple de mesures faites sur une plaque hétérogène ou sur une plaque homogène, par la méthode d'observation directe des noirs et par la méthode de la pile thermo-électrique.

(¹) La marque violette donne des résultats beaucoup moins bons au point de vue de l'homogénéité.

Cette méthode est due à M. Bouasse, il l'a publiée dans son remarquable *Mémoire Sur les actions photographiques* (*Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse*, 1894). J'ai employé dans mes recherches plusieurs des appareils qui lui avaient déjà servi, en particulier le pendule T (*voir* p. 336), qu'il a mis très gracieusement à ma disposition. On verra que les résultats de M. Bouasse ont été complètement vérifiés par mes expériences.

III. Détermination du degré de précision de la méthode, augmentation de la sensibilité d'une plaque par un voile préliminaire.

IV. Autres méthodes.



CHAPITRE I.

ÉTUDE DU DEGRÉ D'HOMOGENÉITÉ DES PLAQUES PHOTOGRAPHIQUES DU COMMERCE.



J'adopterai les définitions de M. Bouasse, relativement aux noirs d'un cliché :

« Soient I l'intensité du faisceau incident, I_1 l'intensité transmise aux points de pose nulle, I_2 l'intensité en un autre point où l'action lumineuse n'a pas été nulle; le noir de ce point est arbitrairement défini par le rapport

$$\frac{I_1}{I_2} - 1 = N.$$

» Soit I_3 l'intensité transmise à travers le verre dépouillé de sa gélatine, le nombre

$$\frac{I_3}{I_1} - 1 = V$$

donne une idée nette du voile du cliché : on doit tâcher qu'il soit voisin de 0. L'unité avec laquelle on mesure les intensités est arbitraire. » (*Bouasse, loc. cit.*)

Pour étudier l'homogénéité, on peut d'abord employer la méthode suivante : exposer une plaque photographique devant une source de lumière suffisamment éloignée pour produire un éclaircissement constant en tous les points de la gélatine. La plaque ainsi impressionnée est développée dans un bain obtenu en mélangeant l'oxalate de potasse et le sulfate ferreux ; le bain a une épaisseur de 2^{cm} ou 3^{cm} au-dessus de la plaque, il est constamment agité, mais assez légèrement pour éviter de découvrir la gélatine. La plaque fixée, alunée, séchée, est observée

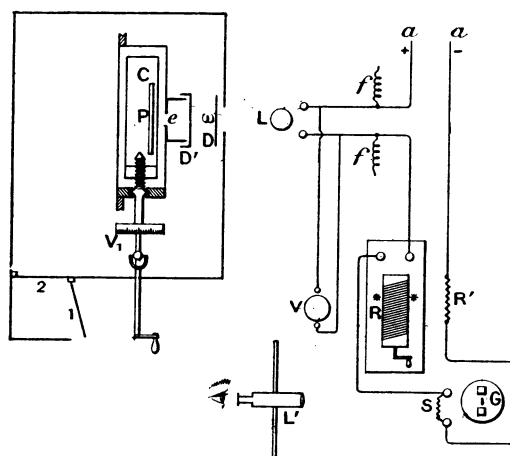
directement, ou au moyen de la pile thermo-électrique, comme nous le verrons plus loin.

Cette méthode, assez rudimentaire, suffit néanmoins pour montrer que les plaques sont presque toujours homogènes, excepté dans le voisinage des bords. Celles qui sont très peu homogènes manifestent déjà leur hétérogénéité sur une bande témoin que l'on prélève dans le sens de la longueur et qu'on développe, sans la soumettre à l'action de la lumière.

Pour étudier d'une façon plus complète l'homogénéité des plaques, j'ai employé un dispositif, que l'on retrouvera plus loin, à propos de la méthode spectrophotométrique.

Une batterie d'accumulateurs de 30 ampères-heures de capacité environ, sous le régime de 15 ampères, produit le courant qui traverse une lampe de Nernst L [modèle de 1 ampère 115 volts (*fig. 1*)].

Fig. 1.



L lampe de Nernst; *ff* fils aboutissant à une deuxième lampe de Nernst (voir *fig. 3*); V voltmètre Weston; *aa* arrivée des fils venant d'une batterie d'accumulateurs; R rhéostat Cance continu; G galvanomètre, L' lunette et règle du galvanomètre G; S shunt du galvanomètre G; ω obturateur (voir *fig. 8*); C chariot mû par V_1 ; P plaque photographique; D' deuxième obturateur; 1, 2 double porte.

La lampe de Nernst employée (*fig. 1*) est à filament rectiligne; la spirale d'allumage a été supprimée; pour amorcer la lampe, on chauffe le filament légèrement avec une lampe à alcool. On évite de changer le sens du courant, car la durée des filaments se trouve réduite par des intervertissements de polarité: le métal dégagé entraîne (E. Bosc, *Annalen der Physik*, 1902) par ses changements de volume des tensions à l'intérieur du corps incandescent. Les supports du filament et les parties voisines de la lampe sont recouverts de noir de fumée; cette condition est

surtout nécessaire quand on fait varier l'intensité de la lumière pénétrant dans l'appareil, en approchant ou éloignant la lampe de la fente.

Les fils amenant le courant sont isolés avec le plus grand soin par des isolateurs à double cloche. La batterie est chargée complètement; on lui fait débiter, avant de faire l'expérience, un nombre de coulombs suffisant pour que le voltage ne varie plus sensiblement. On se trouve alors dans des conditions correspondant à la branche horizontale de la courbe de décharge, ayant comme abscisses le temps et comme ordonnées le voltage aux bornes. Le courant de cette batterie traverse la lampe de Nernst L, un rhéostat R continu, modèle de Cance, vertical; un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, G, convenablement shunté et muni d'une lunette et d'une règle divisée pour observer les déviations, un rhéostat ordinaire R' qui permet de régler le voltage aux bornes de la lampe par l'observation d'un voltmètre V. La lampe de Nernst est protégée contre les courants d'air qui font varier très notablement l'intensité de la lumière qu'elle émet, puisqu'une lampe fonctionnant un peu au-dessous de son voltage s'éteint quand on souffle sur son filament. On laisse la lampe fonctionner une heure, afin de permettre aux rhéostats, à la lampe et à ses enveloppes de s'échauffer et d'atteindre un régime permanent.

Pendant les opérations, l'observateur maintient constante l'intensité du courant par l'observation du galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Avec ces précautions, on obtient une source qui est constante pendant plusieurs heures et qui peut être reproduite identique à elle-même pendant plusieurs jours. La lampe de Nernst n'est pas un étalon photométrique, mais elle constitue une source constante d'un emploi très commode; son éclat intrinsèque est très considérable; elle convient très bien, beaucoup mieux que les lampes à incandescence ordinaires, pour l'éclairage des fentes des spectroscopes.

Voici quelques nombres, indiquant la constante de cette lampe au moyen de l'impulsion galvanométrique produite par le rayonnement de lampe sur une pile thermo-électrique :

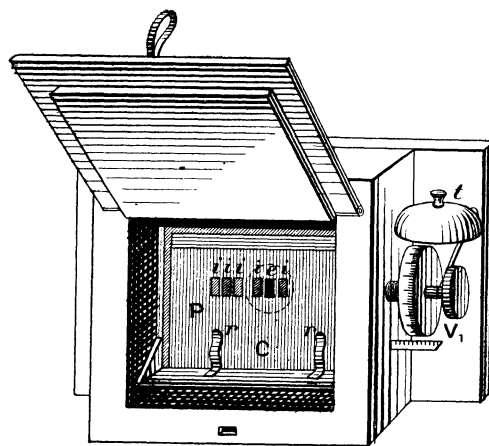
	Zéro du galvanomètre.	Déviation.
^{h. m.} 3.25	227,0	246,1
3.45	229,2	245,3
4	232,0	245,15
4.30	240,4	245,0
5	225,4	245,35
6	217,7	246,2

La lampe de Nernst L éclaire à travers l'ouverture *e* (*fig. 1*) la plaque photographique P, qui est placée sur un chariot micrométrique C, dans un châssis qui sert à un double usage: la plaque s'y impressionne et on la replace

dans le même appareil, plus tard, quand on veut étudier la transparence des noirs.

La plaque est maintenue par des ressorts *r* (*fig. 2*), un chariot micrométrique mû par une vis *V*₁ permet de la faire avancer et d'impressionner des régions très voisines. Un timbre *t* avertit l'opérateur chaque fois que la vis *V*₁ a fait un certain

Fig. 2.



P plaque photographique portée sur le chariot C et maintenue par les ressorts *r*; *i* impressions photographiques; *V*₁ vis micrométrique manœuvrant le chariot C; *t* timbre avertisseur.

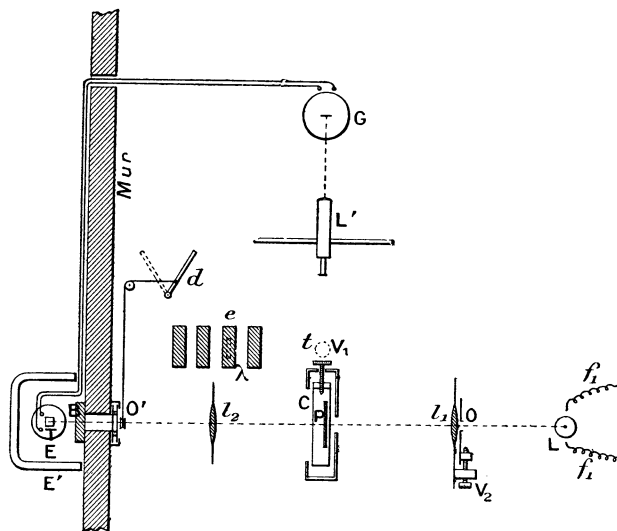
nombre de tours. Au moyen d'une transmission à la Cardan, on peut manœuvrer la plaque à distance. Le châssis contenant la plaque P est disposé dans une chambre, entièrement close, dans laquelle on peut entrer par une double porte 1, 2; toutes les opérations: installation de la plaque, développement, fixage, se font dans l'obscurité la plus complète. La lumière de la lampe L pénètre seulement, quand l'obturateur est dans la position 2 (*voir* p. 336).

Pour supprimer le halo, j'ai employé des plaques antihalo Lumière, mais sans décolorer la plaque après le développement et le fixage. La couleur rouge des plaques n'a pas d'inconvénient pour l'observation des clichés avec la pile thermo-électrique, elle gêne seulement dans les observations directes. Toutefois, j'ai constaté que les plaques antihalo étaient en général assez hétérogènes; j'ai employé le plus souvent des plaques ordinaires, le halo étant supprimé par le procédé qu'indique M. Bouasse: « On noircit avec du vernis noir (noir de fumée dans du vernis copal à l'alcool) du papier calque fin; on le découpe une fois sec à la dimension des clichés. Au moment d'utiliser ceux-ci, on applique sur la face verre un de ces papiers recouvert d'huile. Au moment de développer, on enlève le

papier et l'on essuie le cliché avec un chiffon. » Des expériences multiples m'ont démontré l'efficacité de cette méthode.

Après avoir fait sur la plaque une série de photographies très rapprochées et équidistantes (ayant par exemple $6^{\text{mm}} \times 2^{\text{mm}}$ et séparées par $0^{\text{mm}},5$), on replace la plaque développée et fixée sur le même chariot, dans le châssis déjà employé; une seconde lampe de Nernst L maintenue constante comme la précédente éclaire une lentille l_1 (*fig. 3*) munie d'un œil de chat; cette lentille forme sur la plaque

Fig. 3.



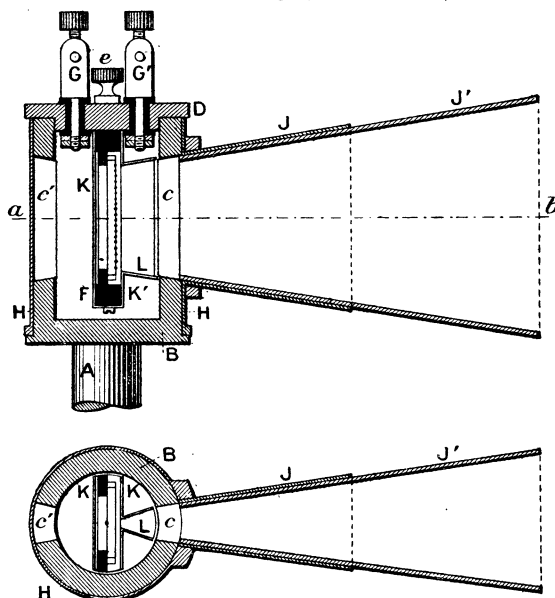
G galvanomètre de faible résistance; L' lunette et règle pour l'observation des déviations galvanométriques; T pile thermo-électrique; E, E' enceintes; B bloc de verre de $0^{\text{m}},03$ d'épaisseur; O' écran double manœuvré par d ; l_1, l_2 lentilles convergentes; C châssis à vis micrométrique; P plaque photographique; V_1 vis micrométrique; t timbre; O œil de chat manœuvré par la vis V_2 ; L lampe de Nernst; f_1, f_2 fils aboutissant en f, f (voir *fig. 1*).

photographique, au centre de l'impression étudiée, une image rectiligne λ , dont on peut faire varier l'intensité en diaphragmant plus ou moins la lentille l_1 . La lentille l_2 forme une image réelle de λ sur les soudures d'une pile linéaire T (*fig. 4*), fer constantan, comprenant vingt éléments ayant une masse et une capacité calorifique très faibles. C'est le modèle adopté par M. Rubens, auquel j'adresse tous mes remerciements pour les précieuses indications qu'il a bien voulu me fournir. La figure 4 représente le détail de la pile.

Un bloc de verre B de 3^{cm} d'épaisseur est destiné à éviter les causes d'erreur provenant des irrégularités dans l'épaisseur du verre de la plaque photographique étudiée.

La pile thermo-électrique est protégée par une double enveloppe dont l'exté-

Fig. 4.



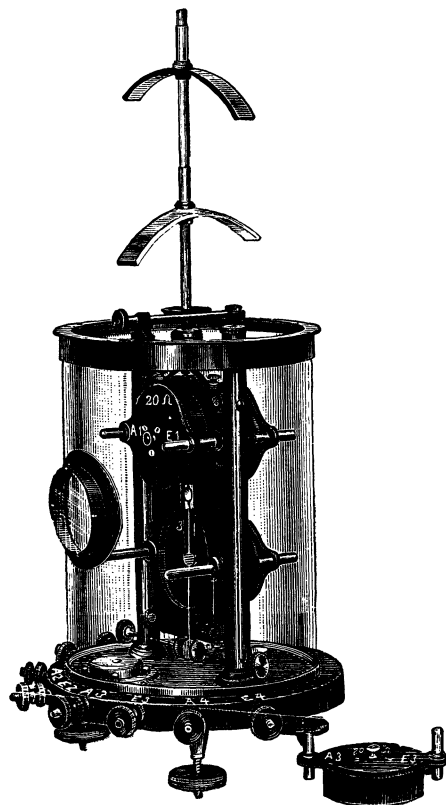
rieure E' est creuse et contient de l'eau. Les bornes de la pile communiquent avec un galvanomètre (modèle Rubens, construit par Keiser et Schmidt) (*fig. 5*); l'équipage mobile du galvanomètre pèse 0^g,09; les bobines ont chacune 20^Ω de résistance. La sensibilité de cet appareil est beaucoup réduite dans ces expériences. La période d'oscillation du galvanomètre est 8 secondes. L' est la lunette d'observation de ce galvanomètre. Un écran *double* O' maintenu par un ressort et pouvant être manœuvré par une tige *d*, qu'un déclenchement abandonne brusquement à elle-même, permet de protéger la pile et de faire tomber brusquement sur elle le rayonnement de la lampe de Nernst. L'opérateur étudie successivement la transparence de régions *homologues* du cliché, puisque c'est la même vis micrométrique et le même chariot qui supporte la plaque dans la première et dans la seconde partie de l'expérience. Ce dispositif a un grand avantage, surtout quand les plages formées sur la plaque photographique ne sont pas homogènes, et c'est le cas des observations spectrophotométriques même dans les appareils possédant une grande dispersion.

La pile thermo-électrique est placée dans une pièce voisine entièrement close, à l'abri, par conséquent, des perturbations (¹).

(¹) Pour éviter l'échauffement de la pile par conductibilité, je l'ai disposée sur un support analogue à celui qu'on emploie pour les calorimètres Berthelot; cette précaution n'est pas inutile, comme l'on peut s'en assurer par l'expérience.

Exemple. — Pour montrer la nécessité du dispositif adopté et décrit plus haut, il suffit de faire sur une même plaque photographique, dont l'homogénéité a été prouvée déjà grossièrement par l'emploi de bandes témoins, une série d'impressions : les unes, série *a*, en abandonnant la lampe à elle-même; les autres, *b*, en

Fig. 5.

Galvanomètre M. du Bois et Rubens (*Electrotechnische Zeitschrift*, 1894).

maintenant constante la déviation du galvanomètre G par la manœuvre du rhéostat continu. Dans le premier cas, il se produit des variations *accidentelles*, dans le courant par exemple, dues à des chutes de matière active dans les accumulateurs, et ces variations donnent à la plaque une apparence d'hétérogénéité; dans le second cas l'homogénéité est très satisfaisante. La figure 6 est la reproduction de la plaque P.

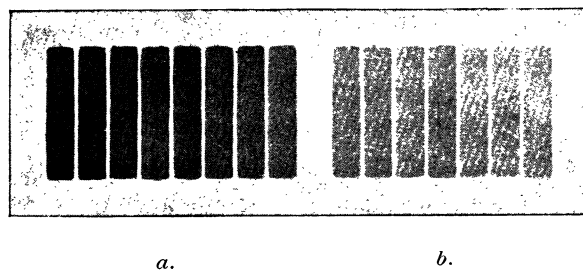
Les déviations galvanométriques pour les huit impressions de la série *a* sont :

353 343 342,5 347 354,5 363 356,5 354,5;

le galvanomètre Deprez-d'Arsonval, pendant la durée de ces impressions photo-

graphiques, a manifesté des variations, dans sa déviation, correspondant à celles que le cliché indique; le courant, traversant la lampe de Nernst, a augmenté et a passé par un maximum au moment où l'on faisait la photographie n° 3, il a varié

Fig. 6.



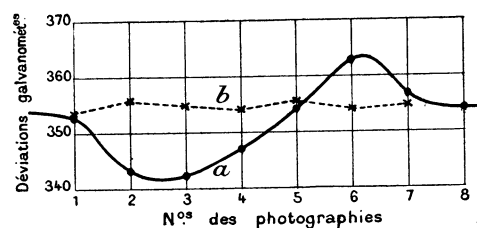
ensuite en sens inverse, a passé par un minimum et il est redevenu ce qu'il était primitivement; une cause *accidentelle et passagère* avait donc fait varier l'intensité de ce courant.

Les impressions photographiques de la série *b* donnent comme déviations:

354 356 354 355 356 354 355.

En faisant de nombreuses expériences avec des plaques Lumière, Jouglà, etc.,

Fig. 7.



je suis arrivé à ce résultat que l'homogénéité des plaques photographiques du commerce est très satisfaisante. En particulier les plaques Lumière marque bleue donnent sur une surface de $4^{\text{cm}} \times 4^{\text{cm}}$ des noirs différant rarement de plus du $\frac{1}{100}$ de leur valeur relative et, en choisissant les plaques employées, la différence des noirs n'atteint pas $\frac{1}{200}$. Ce choix des plaques se fait en développant une bande découpée parallèlement à la grande dimension et impressionnée en une seule fois par une source éloignée.

L'homogénéité est encore bien plus grande si l'on n'utilise qu'une surface de la plaque de 1^{cm^2} ou 2^{cm^2} , surface bien suffisante pour une comparaison spectrophotométrique, comme on le verra plus loin.

Les plaques photographiques employées par M. Bouasse en 1893-1894 étaient certainement différentes de celles que l'on fabrique aujourd'hui. C'est à cette différence que j'attribue l'hétérogénéité que M. Bouasse a constatée dans ses expériences, qui portent sur un trop grand nombre de clichés (3000 épreuves) pour que ses résultats puissent être mis en doute et attribués, par exemple, à une variation continue en fonction du temps de la source de lumière employée. Il est certain, toutefois, que la lampe à pétrole est beaucoup moins constante que la lampe de Nernst employée comme je l'ai indiqué plus haut. Mais la durée des impressions dans les expériences de M. Bouasse était trop courte pour que la lampe à pétrole ait le temps de varier notablement. Au contraire, dans mes expériences, qui durent facilement une heure, il fallait adopter une source plus constante; c'est ce que j'ai fait.

CHAPITRE II.

DESCRIPTION D'UNE MÉTHODE SPECTROPHOTOMÉTRIQUE FONDÉE SUR LA PHOTOGRAPHIE.

Il ne faut pas demander à la plaque photographique de mesurer directement l'intensité d'une radiation; il vaut mieux se contenter de l'employer pour constater l'égalité ou l'inégalité de deux radiations de même longueur d'onde. Elle peut alors rendre les plus grands services. C'est la conclusion à laquelle est arrivé M. Bouasse ⁽¹⁾ à la suite de ses travaux sur les impressions photographiques; c'est également l'opinion de M. Cotton.

Mes expériences m'ont également conduit à employer une méthode de zéro, où la plaque photographique joue un rôle analogue à celui de l'œil, lorsqu'il apprécie l'égalité de deux plages monochromatiques au contact.

Méthode.

Soient I et I' les intensités des deux radiations, de même longueur d'onde, à comparer. Sur une même plaque photographique, on fait tomber la première radiation d'intensité I , pendant le temps t , on déplace légèrement la plaque photographique et, dans le voisinage de la première impression, on en produit une seconde au moyen de la deuxième radiation I' atténuée suivant un rapport connu K_1 ; la durée de pose étant la même, on fait ensuite, dans le voisinage de

⁽¹⁾ *Loc. cit.*

la seconde impression, une troisième photographie au moyen de la première radiation d'intensité I , puis une quatrième au moyen de la seconde radiation, dont l'intensité I' est atténuée dans le rapport K_2 , etc. On a ainsi une série de photographies équidistantes, correspondant à des intensités

$$I, K_1 I', I, K_2 I', I, K_3 I', \dots;$$

on suppose

$$I' > I, \quad 1 > K_1 > K_2 > K_3 \dots,$$

la durée de pose étant maintenue invariable. Le cliché développé est étudié au moyen d'une pile thermo-électrique qui permet de déterminer la transparence pour les rayons calorifiques (*voir* p. 330) des diverses impressions photographiques. Soient $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \dots$ les impulsions du galvanomètre relié à la pile, obtenues quand on interpose sur le trajet des rayons calorifiques les diverses impressions photographiques. On construit deux courbes ayant pour abscisses, l'une et l'autre, les positions x des impressions photographiques, et pour ordonnées, l'une les impulsions du galvanomètre correspondant aux photographies de I , la seconde les impulsions du galvanomètre correspondant aux photographies de

$$K_1 I', K_2 I', K_3 I', \dots;$$

ces deux courbes se coupent en un point A correspondant à un point P de la plaque photographique, dont l'abscisse est x .

Soient $f(I, x)$ la fonction qui représente la variation de la transparence des impressions photographiques avec l'intensité I de la radiation et le point de la plaque, pour la longueur d'onde λ .

On a, pour le point P,

$$f(I, x) = f(KI', x),$$

ce qui donne

$$\frac{I}{I'} = K,$$

les variations K et x étant d'ailleurs liées par une relation simple, linéaire de préférence, et que l'expérimentateur choisit arbitrairement.

Il faut remarquer que cette méthode n'exige nullement l'homogénéité complète de la plaque employée, mais seulement la continuité dans l'hétérogénéité. Or cette continuité est admise par tous les auteurs qui ont étudié cette question. On peut dire en définitive que la méthode précédente revient à constater que deux radiations impressionnent également *le même point* d'une plaque photographique, et qu'elles ont par conséquent la même intensité. L'examen direct de la plaque photographique éclairée uniformément et *faiblement* permet de déter-

miner le rapport $\frac{1}{I}$ avec une approximation qui est déjà de l'ordre de celle que donnent de bonnes mesures photométriques. On peut s'en contenter dans bien des cas. La valeur $\frac{1}{I}$ étant ainsi approximativement connue, il est nécessaire de faire seulement un petit nombre d'expériences avec la pile thermo-électrique.

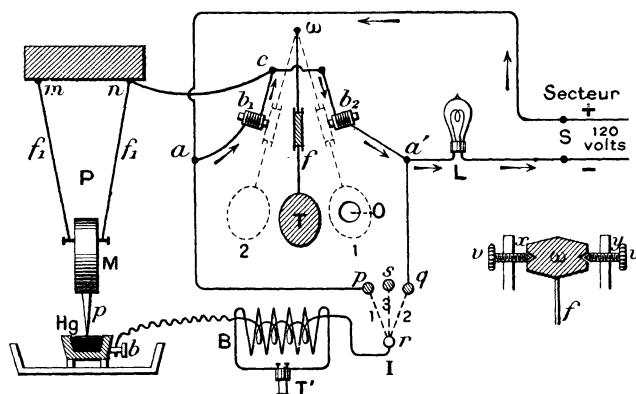
Il est maintenant nécessaire de donner quelques détails expérimentaux :

- a. Source de lumière maintenue constante (*voir* p. 327);
- b. Obturateur permettant de faire des durées de pose bien connues.

Description de l'obturateur (fig. 8).

L'obturateur se compose d'un pendule, ωfT , formé par une tige de fer suspendue en ω et pouvant tourner autour d'un axe horizontal, déterminé par les deux

Fig. 8.



Hg cuvette en fer contenant du mercure; p pointe en fer terminant la masse de plomb M du pendule P ; f_1 fils de cuivre supportant M ; B bobine d'induction dont le primaire est traversé par le courant du secteur quand l'une des bobines b_1 ou b_2 est mise en court-circuit; L rhéostat de lampes; ω axe de suspension du pendule f ; f lame de fer doux recouverte de papier; T plaque de zinc qui obture l'ouverture O , dans la position 1, et la découvre complètement dans la position 2; b_1 , b_2 bobines, traversées par le courant du secteur S , et qui sont mises en court-circuit par le grand pendule P ; P pendule, dont la période à 15°C. est de 3,79 secondes; I interrupteur à double direction; dans la position 1, communication pr établie, la bobine b_1 est mise en court-circuit; dans la position 2 c'est la bobine b_2 qui est mise en court-circuit; T' téléphone branché sur le secondaire de la bobine B .

pointes x et y de deux vis v : le plan d'oscillation du pendule est ainsi bien déterminé. En f se trouve une masse de fer doux recouverte d'une mince feuille

de carton; en T est soudée une plaque de zinc qui vient obturer exactement l'ouverture O, par laquelle pénètre la lumière dans l'appareil. La masse de fer f vient buter, aux extrémités de sa course, contre deux bobines b_1 et b_2 , et le carton mince qui l'entoure empêche qu'elle ne se colle d'une façon permanente aux noyaux de ces deux bobines; il est facile de trouver par tâtonnements l'épaisseur d'entrefer nécessaire pour que l'appareil fonctionne régulièrement. Les bobines b_1 et b_2 sont traversées par le courant continu de la ville, elles sont placées en série; comme leur résistance (30^ω par bobine) n'atténuerait pas suffisamment le courant, on place en série, avec elles, deux lampes à incandescence L qui forment rhéostat.

Les bobines b_1 et b_2 permettent de commander le pendule T au moyen d'un deuxième pendule M. Les poses se font donc automatiquement; leurs durées sont égales à 1, 2, 3, ..., n fois la période d'oscillation du pendule M. Pour obtenir ce résultat, il suffit de suspendre au plafond de la salle où se fait l'expérience, ou dans une salle voisine, une lourde masse de plomb, au moyen de fils de bronze f_1, f_1 . La masse M est munie à sa partie inférieure d'une pointe en acier qui vient frotter légèrement sur la surface d'un bain de mercure Hg contenu dans une cuvette en fer, placée elle-même dans une cuvette en porcelaine, dont la position peut être réglée vis-à-vis de la pointe p , au moyen d'un support convenable. Si le pendule M est dans une autre salle que l'opérateur, celui-ci fait usage d'une bobine d'induction B, dont le circuit secondaire contient un téléphone, qu'il suffit d'écouter pour déterminer le nombre d'oscillations du pendule M. L'opérateur, en même temps qu'il écoute dans le téléphone, doit manœuvrer l'interrupteur I qui permet de fixer la durée de pose, et un rhéostat qui permet de maintenir constante l'intensité du courant qui passe dans la lampe de Nernst.

Les connexions sont établies de la façon suivante: le courant du secteur S passe d'abord dans la bobine b_1 puis dans la bobine b_2 et dans les lampes L, lorsque la manette de l'interrupteur I, à deux directions, se trouve placée sur le plot mort S, dans la position 3. Si la manette de l'interrupteur I est dans la position 1, le pendule M, quand la pointe p touche le mercure Hg, a pour effet de mettre en court-circuit la bobine b_1 ; au contraire, quand la manette de l'interrupteur I se trouve dans la position 2, le pendule M met en court-circuit la bobine b_2 . Le circuit primaire de la bobine d'induction B est traversé par les courants ainsi produits et c'est pour cela qu'on peut suivre le mouvement du pendule M sans le voir, en écoutant dans le téléphone T'.

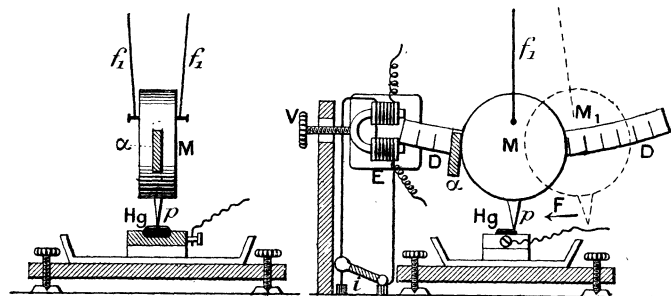
On peut aussi employer une autre méthode, qui consiste à placer les lampes L dans la même salle que l'interrupteur I; l'observateur placé dans cette salle voit l'éclat des lampes L varier périodiquement: à chaque court-circuit, le courant est augmenté, il en résulte une augmentation d'éclairement; pendant une oscillation double de M, il y a deux courts-circuits et, par conséquent, deux maxima d'inten-

sité des lampes L; la période d'oscillation du pendule M est 3,79 secondes à 15° C.; elle est assez longue pour que les lampes puissent indiquer nettement les divers courts-circuits. Cette remarque est nécessaire; on sait, en effet, qu'une lampe à incandescence soumise à un courant variant un peu rapidement aurait un éclat constant: une lampe à incandescence met, en effet, un temps très appréciable pour s'éteindre ou s'allumer.

Si le pendule M est dans l'obscurité, l'observateur placé dans son voisinage peut compter le nombre de ses oscillations en regardant les étincelles qui se produisent quand la pointe p quitte le bain de mercure; il y a deux étincelles à chaque oscillation complète du pendule M, mais il n'en voit qu'une seule, l'autre est cachée. Le nombre des étincelles vues est donc égal au nombre de périodes de M.

La méthode le plus souvent employée a été celle-ci: un aide était chargé de faire les poses photographiques (et de maintenir constante la source employée); il observait le pendule M qui oscillait dans une salle éclairée, devant une graduation D; il comptait à haute voix le nombre de périodes. A la fin de chaque période un électro-aimant rattrapait le pendule M, sans lui donner de secousses. Cet électro-aimant E (fig. 9) était muni aux extrémités de son noyau de feuilles

Fig. 9.



E électro-aimant; z armature de l'électro-aimant E; i interrupteur permettant de mettre brusquement en court-circuit les bobines de l'électro-aimant E;

V vis permettant de rapprocher de M l'électro-aimant E.

Dans la figure 9 M est en équilibre, la pointe p est en contact avec l'une des extrémités du bain de mercure.

D graduation permettant de mesurer l'amplitude de l'oscillation du pendule M.

de caoutchouc contre lesquelles l'armature z , portée par le pendule M, venait s'appliquer. Pour mettre le pendule en mouvement, on manœuvrait un interrupteur i , qui met en court-circuit l'électro-aimant. L'amplitude des oscillations de M décroissant légèrement pendant une pose photographique, il est nécessaire de faire avancer au moyen de la vis V la planche sur laquelle est fixé l'électro-aimant; quand on a rattrapé le pendule, on ramène l'électro-aimant dans sa position primitive, afin de maintenir *constante* l'amplitude des oscillations de M.

Réglages divers. — Le pendule $\omega f T$ doit être réglé avec soin. Les deux vis c dont les pointes fixent l'axe d'oscillation doivent permettre au pendule d'osciller librement. Les bobines b_1 et b_2 sont bien symétriques par rapport au pendule dans sa position d'équilibre. L'interrupteur I étant dans la position 3, on amène le pendule dans la position 1, l'armature f reste collée contre le noyau de la bobine b_2 ; on met la manette de l'interrupteur en 2, le pendule fait une oscillation simple et se colle sur b_1 . La manette de l'interrupteur est placée en 1, le pendule fait une deuxième oscillation et se colle contre b_2 . On répète ces deux manœuvres un grand nombre de fois pour être sûr que le pendule est bien réglé; il suffit de constater que le choc de l'armature f contre les deux noyaux de b_1 et b_2 donne un bruit de même intensité. Si cette condition n'est pas réalisée, on rapproche de la verticale $\omega f T$ celle des bobines qui a donné le choc le plus faible.

Pour régler le pendule M , on fait affleurer la pointe f et le bord extrême du bain de mercure Hg , M étant abandonné à lui-même. Le court-circuit qui produira les déplacements du pendule T correspondra au mouvement du pendule M dans le sens F . L'autre court-circuit ne sera pas utilisé pour la commande de T . On voit l'avantage de cette disposition, *le court-circuit utilisé se produira toujours au moment où le pendule M passe par la verticale*. La légère diminution d'amplitude du pendule M pendant une pose n'altérera pas la périodicité des courts-circuits. Quand l'appareil est bien réglé, la pointe p trace sur le mercure une ligne très fine à peine perceptible.

Manœuvre de l'obturateur.

Supposons que l'on veuille faire une pose égale à la durée de dix périodes du pendule M ; on met celui-ci en mouvement. Le pendule T est dans la position 1, l'ouverture O est obturée. La manette de l'interrupteur I est placée en 2 par un mouvement brusque, au moment où le pendule est en M_1 . Le pendule redescend, passe par la verticale, à ce moment la bobine b_2 est mise en court-circuit, le pendule T décrit une demi-oscillation et s'accroche contre b_1 ; il faut remarquer que la mise en court-circuit de b_2 n'est pas instantanée et que l'armature f met un certain temps pour quitter le noyau de b_2 , mais le retard du départ de T par rapport au passage par la verticale est constant; ce retard est le même d'ailleurs quand T quitte b_1 ou b_2 , à cause de la symétrie de l'appareil. Le pendule T s'étant accroché au noyau de b_1 on compte les passages de M par la verticale dans le sens de la flèche F . Un peu avant le onzième passage de M par la verticale, quand le pendule se trouve en M_1 , on amène brusquement la manette de l'interrupteur I dans la position 1, le onzième court-circuit se produit aux bornes de la bobine b_1 .

et ramène T dans la position 1; la pose est terminée, elle est exactement égale à dix périodes d'oscillation de M.

Cet appareil m'a rendu les plus grands services, il a fonctionné pendant un an sans se dérégler; il faut seulement tenir compte des variations de température qui altèrent la durée de la période de M. L'effet des variations de la température sur le pendule T est beaucoup moins important et n'intervient que dans le mouvement de T de la position 2 à la position 1.

On peut, au moyen de ce dispositif, faire des poses exactement connues et variables dans de grandes limites (depuis quelques secondes jusqu'à 30 minutes). Le pendule M peut commander à distance et simultanément plusieurs pendules T. Lorsqu'il est nécessaire de faire mouvoir l'obturateur dans un plan quelconque, autre qu'un plan vertical, on remplace le pendule par un obturateur mû par un ressort et actionné par les bobines b_1 et b_2 . Un pareil dispositif peut rendre des services dans les observatoires pour la photographie des étoiles, et la détermination de leur grandeur.

c. Châssis à mouvement micrométrique (*voir* p. 329).

d. Moyens d'atténuation employés.

Pour atténuer l'intensité de la lumière, j'ai employé deux méthodes :

1° Celle des variations de distance. L'intensité de la lumière qui tombe sur la plaque photographique varie en raison inverse du carré de la distance du filament de la lampe de Nernst à la fente. Un fil à plomb placé dans le prolongement du filament permet de lire cette distance sur une règle divisée. Ce procédé convient très bien quand il est nécessaire d'obtenir des intensités très faibles; il a l'inconvénient d'entraîner quelquefois des variations dans la source, à cause des courants d'air qui se produisent autour du filament quand on le déplace.

2° L'emploi d'une fente mue par une vis micrométrique donne également de bons résultats, surtout quand on veut mesurer des rapports $\frac{1}{I}$ peu différents de l'unité.

Il est nécessaire de se rendre compte de l'ordre de grandeur des bavures de la fente vis-à-vis de sa largeur. La fente variable ne convient pas quand il faut atténuer beaucoup l'intensité de la lumière qui pénètre dans l'appareil. Il ne faut pas non plus ouvrir trop la fente, surtout si elle est dissymétrique (c'est-à-dire à un seul volet mobile), car, dans ce cas, l'image du filament de la lampe de Nernst ne se forme plus en des *points homologues* des diverses impressions photographiques, lorsqu'on étudie le cliché avec la pile thermo-électrique.

Remarque. — Pour une radiation déterminée, toute la lumière tombant sur la fente doit arriver sur la plaque photographique sans être arrêtée par les diaphragmes qui se trouvent sur les lentilles et les prismes.

Étude de la fente. Détermination du zéro.

On examine au microscope les bords de la fente, afin de chercher la région la meilleure, c'est-à-dire celle où les deux bords sont bien rectilignes et parallèles. On choisit la région où les bavures sont de peu d'importance. Les poussières sont enlevées en essuyant les bords avec un morceau de bois de fusain convenablement taillé et légèrement humecté. Il ne faut pas essuyer la fente avec un linge dont les fils s'attacheraient aux bords de la fente, surtout si elle est en platine, comme l'une de celles que j'ai utilisées.

Il est nécessaire de déterminer le zéro de la fente, c'est-à-dire la division du tambour de la vis micrométrique correspondant au contact des deux bords. Une méthode grossière consisterait à tourner la vis micrométrique de façon à fermer la fente et à s'arrêter au moment où l'on sent une résistance; si la fente est bonne, elle ne doit plus, à ce moment, laisser passer de lumière; mais, si les deux bords ne sont pas parallèles, le contact n'a lieu qu'à une extrémité de la fente, et à l'autre extrémité la lumière passe. Cette méthode ne peut être employée, car elle détériore la fente et sa vis micrométrique. Il est indispensable de ne jamais amener les deux bords de la fente au contact et d'employer pour la détermination du zéro une méthode indirecte, par exemple, celle qui suit :

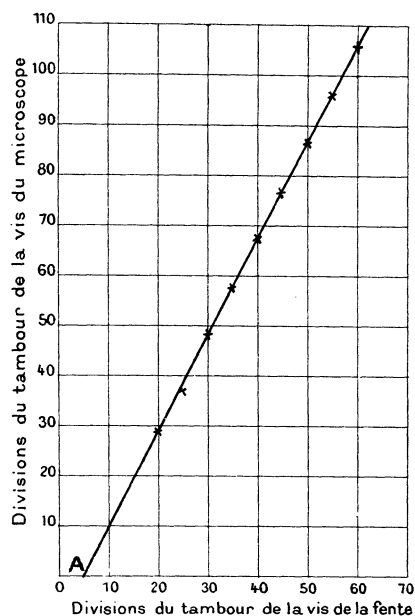
On dispose devant la fente un microscope de grossissement assez faible et possédant un réticule; un chariot micrométrique permet de déplacer le microscope normalement à son axe. On commence par ouvrir largement la fente en tournant convenablement la vis micrométrique dont elle est munie; on tourne ensuite cette vis en sens inverse d'une quantité suffisante pour qu'elle vienne buter contre son écrou et qu'elle l'entraîne. On s'arrête, et l'on détermine alors la largeur de la fente, en pointant avec le microscope successivement les deux bords de celle-ci, c'est-à-dire en amenant successivement l'image de chacun des deux bords en coïncidence avec la croisée des fils du réticule. On recommence la même détermination plusieurs fois, en ayant soin de tourner la vis de la fente toujours dans le même sens, pour éviter le temps perdu. On adopte comme sens de rotation de cette vis celui qui correspond à la fermeture de la fente et l'on peut ainsi amener les deux bords à une très faible distance l'un de l'autre. Au contraire, si l'on choisit l'autre sens de rotation, on ne peut pas approcher les deux bords d'une distance plus faible que le jeu de l'écrou par rapport à la vis : le zéro est moins bien déterminé et l'on risque d'abîmer la fente en amenant accidentellement les deux bords en contact et de changer en même temps le zéro. Il faut donc, dans les déterminations photométriques, adopter comme sens de rotation celui qui correspond à la fermeture de la fente : c'est pour ce sens de rotation que le zéro de la fente a été déterminé.

Voici un exemple de détermination du zéro :

Divisions du tambour de la vis de la fente.	Divisions du tambour de la vis du microscope.
60.....	106,0
55.....	96,0
50.....	87,0
45.....	76,5
40.....	68,0
35.....	57,5
30.....	48,5
25.....	37,0
20.....	29

La courbe (*fig. 10*) construite en prenant comme abscisses les divisions du tambour de la vis de la fente, et comme ordonnées les divisions correspondantes du tambour de la vis du microscope, est une droite; ce qui montre la régularité des deux vis dans les régions employées, on lit le point A où cette droite coupe

Fig. 10.



l'axe des abscisses, point qui indique le zéro; c'est la division 5,0 du tambour de la vis de la fente. La même détermination doit être faite assez souvent pour vérifier que le zéro ne change pas.

On emploie le même microscope pour vérifier la vis micrométrique de la fente;

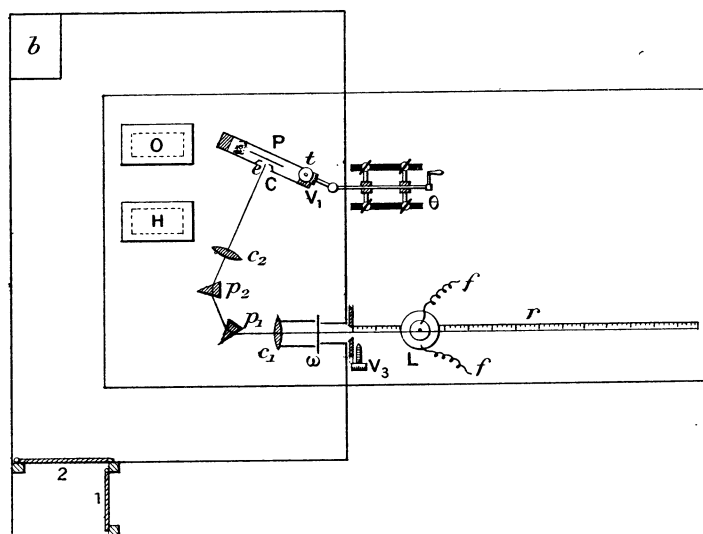
pour cela, on détermine diverses largeurs de la fente en fonction d'une région toujours la même de la vis micrométrique du microscope.

e. Précautions à prendre dans le développement, choix de la plaque (*voir* p. 327).

f. Exemples de mesures.

La figure 11 représente le spectrophotomètre photographique. La légende donne des explications suffisantes. L'appareil étant réglé comme un spectroscope,

Fig. 11.



L. lampe de Nernst qui se déplace sur une règle divisée r ; V_3 vis micrométrique de la fente; c_1 lentille collimatrice; p_1, p_2 prismes réfringents; c_2 lentille convergente dont le foyer est sur la plaque P ; C chariot micrométrique, commandé par la transmission à la Cardan θ ; H, O pendules très lourds pour balancer les cuvettes à oxalate et hyposulfite; 1, 2 double porte.

on amène une raie déterminée au milieu de l'ouverture e , qui limite la surface de la plaque qui sera impressionnée, on fixe solidement le châssis dans cette position et la vis V_1 est reliée à la transmission à la Cardan mue de l'extérieur par une manivelle θ .

Premier exemple. — On détermine le coefficient de transmission d'une plaque de verre jaune, pour la radiation de longueur d'onde 5351. La fente variable a son zéro à la division 27 du tambour. Le Tableau suivant et la courbe (*fig. 12*) suffisent pour expliquer la détermination. On remarque que la courbe 1 monte assez rapidement, ce qui prouve que, pendant l'expérience, la lampe à pétrole a baissé d'une façon régulière, sans empêcher de faire les mesures correctement.

Divisions de la règle
qui repère le chariot
micrométrique
mû par V_2 .

Tambour de V_2 .

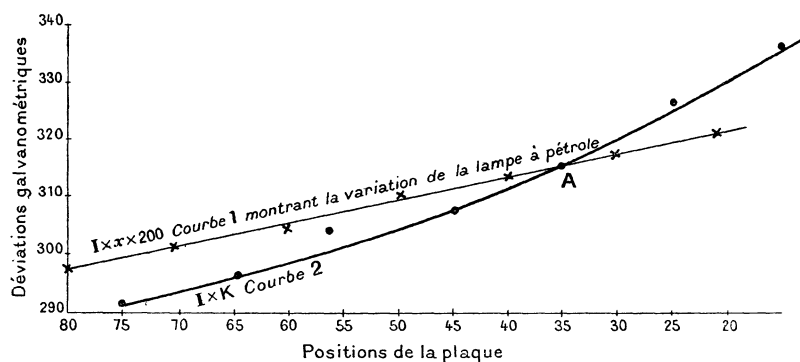
Position de v .

Déviation
galvanométrique α .

80.....	27 (2 tours de V_2)	lame	298,0
75.....	70 (1 tour $\frac{1}{2}$ environ de V_2)	pas de lame	291,5
70.....	27 (2 tours de V_2)	lame	302,0
65.....	72 "	pas de lame	297,0
60.....	27 "	lame	304,5
55.....	74 "	pas de lame	306,5
50.....	27 "	lame	311,5
45.....	76 "	pas de lame	308,0
40.....	27 "	lame	315,0
35.....	78 "	pas de lame	317,0
30.....	27 "	lame	319,0
25.....	80 "	pas de lame	328,0
20.....	27 "	lame	323,0
15.....	82 "	pas de lame	338,0

v est la vis d'un chariot supportant la lame étudiée.

Fig. 12.

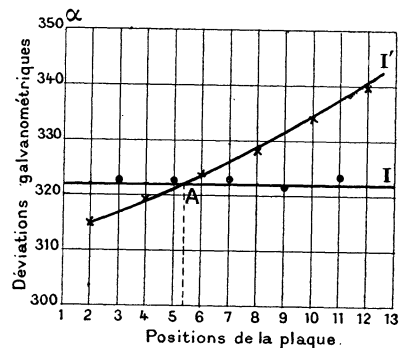


Le rapport α cherché (coefficient de transmission) est donné par l'équation

$$\alpha = \frac{149}{200} = 0,745.$$

Même détermination. La lampe de Nernst employée est maintenue constante (fig. 13).

Fig. 13.



Numéros des impressions photographiques.	Sources.	k .	α .	
1.....	$I \times x$	1	322	
2.....	$I' = I \times 0,79$	0,79	315	$I \times 0,79 > I \times x$
3.....	$I \times x$	1	323	
4.....	$I' = I \times 0,76$	0,76	319	$I \times 0,76 > I \times x$
5.....	$I \times x$	1	322,8	
6.....	$I' = I \times 0,73$	0,73	324	$I \times 0,73 < I \times x$
7.....	$I \times x$	1	323,4	
8.....	$I' = I \times 0,70$	0,70	328	$I \times 0,70 < I \times x$
9.....	$I \times x$	1	321,7	
10.....	$I' = I \times 0,67$	0,67	334	$I \times 0,67 < I \times x$
11.....	$I \times x$	1	324	

on trouve

$$x = 0,739.$$



CHAPITRE III.

DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE PRÉCISION DES EXPÉRIENCES SPECTROPHOTOMÉTRIQUES. AUGMENTATION DE LA SENSIBILITÉ PAR UN VOILE PRÉLIMINAIRE.

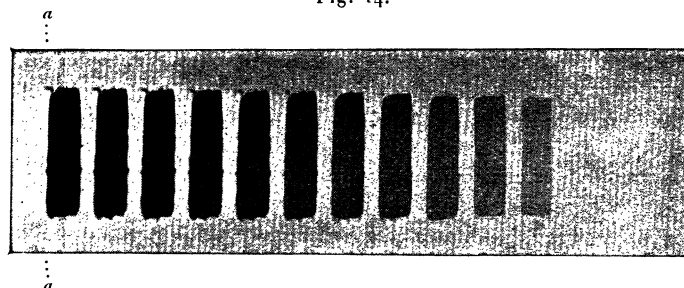


Pour se rendre compte du degré de précision des expériences spectrophotométriques fondées sur l'emploi de la plaque photographique et pour rechercher les conditions optima dans lesquelles il faut se placer autant que possible, il suffit de faire pour les diverses radiations l'expérience suivante :

On choisit une plaque photographique 13×18 , on découpe dans la région du centre plusieurs bandes parallèles à la grande dimension de la plaque. Une de ces bandes est développée sans avoir été impressionnée, une deuxième est développée après avoir été impressionnée sur toute son étendue par un éclairage uniforme, ce sont les plaques témoins m , n . Si elles paraissent bien homogènes à l'examen direct et à l'examen par la pile thermo-électrique, on emploie les autres bandes à la détermination de la précision. Les bandes extrêmes p et q sont jetées, leur homogénéité étant presque toujours défectueuse, même dans une plaque excellente.

Dans la région centrale de la bande choisie, on fait une série d'impressions photographiques, régulièrement placées; la figure 14 représente en vraie grandeur ce cliché. L'impression numérotée 0 est la plus forte, l'impression 11

Fig. 14.



n'est pas visible directement sur le cliché, mais la pile thermo-électrique manifeste très nettement son existence. La ligne *aa* indique la région où l'on a formé l'image réelle du filament de la lampe Nernst ⁽¹⁾.

Le Tableau ci-contre indique les déviations galvanométriques correspondant aux diverses impressions photographiques et à la plaque dans les régions où elle n'a pas reçu de lumière, les noirs varient de 21,5 pour la photographie n° 0, jusqu'à 0,035 pour la photographie n° 11.

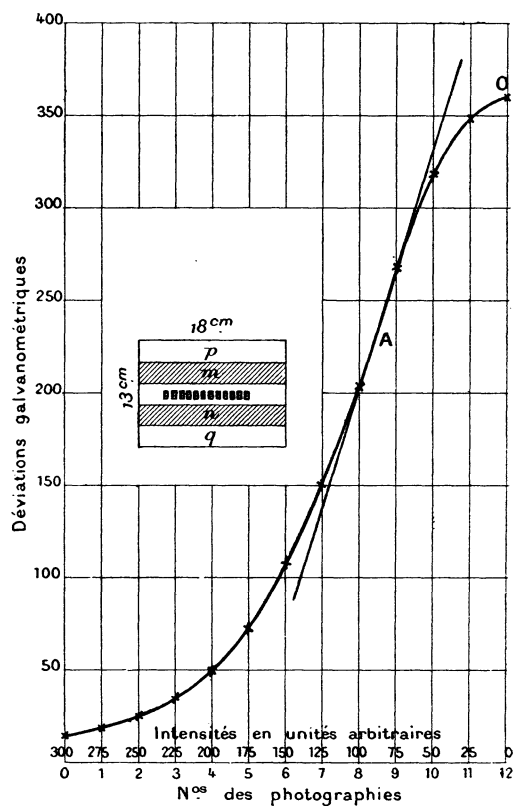
Les expériences citées ici se rapportent à la lumière jaune du sodium, la durée de pose était 2 minutes environ (exactement $30 \times 3,79 = 113^s,7$).

La courbe obtenue est régulière : elle montre que si l'intensité lumineuse varie à partir de zéro, l'impression photographique croît d'abord lentement, la tangente à l'origine 0 est très peu inclinée sur l'axe des abscisses; l'impression photographique s'accélère ensuite : la courbe possède en A un point d'inflexion et, dans cette région, elle se confond assez longtemps avec sa tangente; c'est pour cette région A, comprise entre les intensités 150 et 75, que les conditions expérimentales sont les meilleures. Après le point d'inflexion, la courbe descend moins rapidement, et elle tend vers une asymptote horizontale. Dans l'expérience précédente, les intensités et la durée de pose étaient insuffisantes pour produire le premier renversement. La courbe précédente est intéressante : elle montre que l'impression photographique, d'abord lente, croît ensuite brusquement; à ce moment-là doit se produire un phénomène d'allure explosive, que la température de la gélatine permettrait peut-être d'étudier. (On pourrait déterminer cette température au moyen d'une pile fer-constantan, ayant une capacité calorifique très faible et possédant un grand nombre de soudures, dont les unes seraient

(¹) *aa* devrait être au milieu de la première impression.

laissées à l'air libre, les autres mises en contact intime avec la gélatine, sur laquelle

Fig. 15.



N° de photogr.	Intensités en unités arbitraires.	Déviations galvan.
0.....	300	16
1.....	275	20
2.....	250	26
3.....	225	34
4.....	200	48
5.....	175	71
6.....	150	108,5
7.....	125	150,5
8.....	100	204
9.....	75	268
10.....	50	320
11.....	25	348
12.....	0	360

Durée de pose : 2 minutes environ.

$$\lambda = 0^{\mu},5891.$$

Plaques Lumière, marque bleue.

on ferait tomber des rayons ultra-violet. L'expérience présente des difficultés, je n'ai pas encore eu l'occasion de la réaliser.)

Quand l'intensité de la lumière continue à croître, l'impression photographique se ralentit et finit par ne plus augmenter sensiblement.

En définitive, la courbe des noirs en fonction de l'intensité rappelle, par sa forme, les courbes d'aimantation.

Il faudra se placer, dans le cas cité, dans les conditions expérimentales suivantes : intensité comprise en 100 et 75⁽¹⁾, pose 112 secondes; il sera facile, par l'emploi de la lampe de Nernst, de reproduire cette intensité avec une exactitude très suffisante. La courbe des noirs montre que l'on a

$$\frac{dI}{I} = \frac{1}{222} \quad \text{pour} \quad d\alpha = 1,$$

c'est-à-dire qu'une différence d'intensité égale à $\frac{1}{222}$ correspond à une variation de 1 division pour la déviation galvanométrique (or, on évalue facilement le quart d'une division). On peut dire, par conséquent, que la précision des mesures sera limitée par la constance de la source, qu'il est difficile de maintenir constante avec une précision de plus du $\frac{1}{300}$.

Si l'expérience photométrique nécessite l'emploi d'intensités notablement différentes des intensités optima, dont on vient de voir la détermination, il sera indispensable, au moins dans des expériences définitives, de voiler la plaque afin d'atteindre la région A. C'est un procédé analogue à celui qui consiste à employer dans les relais des électro-aimants polarisés.

Voici une expérience mettant en évidence directement l'influence du voile : sur une même plaque photographique, on fait 2 impressions différentes, l'une sur une plaque non voilée, l'autre sur une plaque préalablement voilée. On obtient sur la première plaque une impression dont la transparence est représentée par une déviation galvanométrique : $\alpha_1 = 230$, alors que le fond sur lequel se détache cette photographie correspond à une transparence représentée par la déviation galvanométrique $\alpha_2 = 273$.

Sur la plaque préalablement voilée, la même radiation que dans le premier cas produit, avec une durée de pose identique, une impression dont la transparence est représentée par $\alpha'_1 = 96$, alors que le fond correspond à une transparence représentée par $\alpha'_2 = 141$.

Dans le premier cas le noir est 0,18; dans le second cas, sous l'influence du voile, le noir devient 0,47.

(1) Dans cette région, les déviations galvanométriques varient linéairement, en fonction de l'intensité de la lumière, ce qui est avantageux, pour la construction des courbes (voir p. 341).

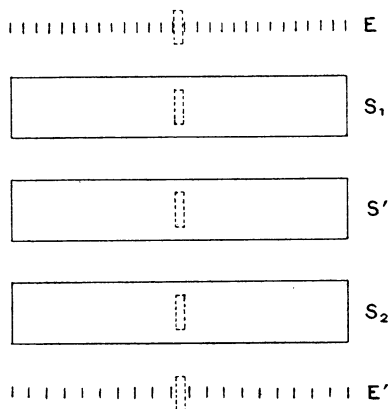
CHAPITRE IV.

AUTRES MÉTHODES.

Emploi du spectrographe de Steinheil.

Cet appareil m'a permis de réaliser la méthode suivante, qui paraît donner de bons résultats, mais sur laquelle j'ai fait peu d'essais ⁽¹⁾. Le châssis de ce spectrographe est muni d'un mouvement dans un sens parallèle à la fente, c'est-à-dire transversalement à la grande dimension des spectres. On commence par photographier : 1° l'échelle micrométrique E (*fig.* 16); 2° le spectre S₁ de la première

Fig. 16.



source de lumière; 3° le spectre S' de la source de lumière qu'on veut comparer à la première; 4° le spectre S₂ de la première source; 5° l'échelle micrométrique E'. Le chariot micrométrique est inutile. Ces cinq photographies s'obtiennent en déplaçant le châssis dans la glissière située au fond de la chambre photographique du spectrographe; à chaque déplacement un taquet arrête le châssis dans la position voulue. La plaque photographique replacée dans le même châssis après développement et fixage est observée ensuite avec la pile thermo-électrique. On amène l'image réelle du filament de la lampe sur une division déterminée de la photographie E du micromètre, on vérifie que l'image du filament tombe bien sur

(1) M. Cotton, dans le Mémoire cité, a indiqué plusieurs méthodes de photométrie photographique, d'ailleurs fort pratiques. Celle que je décris ici a l'avantage d'utiliser un appareil tel qu'il est livré par le constructeur.

la même division de la photographie E' du micromètre quand on déplace convenablement le cliché de bas en haut. La comparaison au moyen de la pile thermo-électrique des spectres S_1 et S_2 indique le degré d'homogénéité de la plaque. On cherche par tâtonnements sur quelle division du micromètre il faut placer l'image du filament pour que la transparence de S' soit égale à la moyenne des transparences de S_1 et S_2 .

Le noir est-il fonction de l'intégrale $\int_0^{\theta} I dt$, dans laquelle θ désigne le temps de pose?

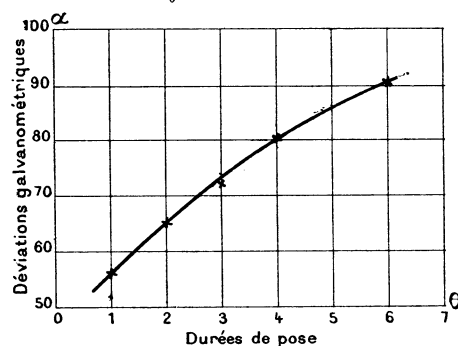
Il y a plusieurs appareils photométriques qui sont fondés sur cette hypothèse : le noir est invariable si : $\int_0^{\theta} I dt$ est constant.

Divers expérimentateurs l'ont admise, en particulier Simon (*Wied. Ann.*, t. LIX, 1896) dans ses recherches sur le spectre ultra-violet.

D'autre part, MM. Bouasse (*loc. cit.*) et Abney (*Phot. Journ.*, t. XVIII) ont trouvé que cette hypothèse était inexacte. M. Bouasse dit : « Le cliché est d'autant

Fig. 17.

$$\int_0^{\theta} I dt = \text{const.}$$



plus dur que l'intensité est plus grande et le temps de pose plus court... Les clichés obtenus à l'aide d'intensités faibles sont toujours plus ou moins uniformément gris. »

C'est également à cette conclusion que Fizeau et Foucault étaient arrivés dans leurs recherches sur l'intensité de la lumière émise par le charbon dans l'expérience de Davy. Fizeau et Foucault formaient sur une couche sensible une série d'images, dont les intensités étaient en raison inverse de la durée de pose. Ils ont trouvé que les images successives ainsi obtenues sont sensiblement

égales tant que les durées de pose et les intensités varient entre les limites 1 et 10, c'est-à-dire tant que les rapports $\frac{i}{i'} = \frac{\theta'}{\theta}$ n'atteignent pas une valeur plus grande que 10. Ils ont trouvé que, si l'on continue à faire varier l'intensité et le temps de pose au delà de cette limite, on s'aperçoit bientôt que les images ne sont plus égales. Pour les valeurs $\theta' = 60\theta$ et $i' = \frac{i}{60}$, l'image obtenue avec l'intensité i' et dans le temps θ' est incontestablement plus faible que celle qui a été produite par l'intensité i et dans le temps θ .

J'ai appliqué la méthode précédemment décrite à l'étude de cette question, pour me rendre compte du degré d'inexactitude de cette hypothèse.

Voici quelques nombres (voir *fig.* 17) :

Numéros des impressions photographiques.	I. — Intensités en unités arbitraires.	θ . — Temps de pose.	α . — Déviations galvanométriques.
	min.		
1.....	3,0	1	57,0
2.....	1,5	2	65,5
3.....	1,0	3	72,0
4.....	0,75	4	80,0
5.....	0,50	6	91,0

La courbe représentative montre que les noirs varient beaucoup : la transparence augmente avec la durée de pose.

Il n'est pas possible d'en déduire une méthode de mesure, même approximative.

