Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Mathématique et physique = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Mathematik und Physik

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 1 (1904)

Heft: 2: Influence de l'intensité maximum du courant sur le spectre de la décharge oscillante

Artikel: Influence de l'intensité maximum du courant sur le spectre de la décharge oscillante

Autor: Joye, Paul

Kapitel: IV: Les mesures spectroscopiques

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306684

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

IVe PARTIE.

Les mesures spectroscopiques.

Chapitre I.

OBTENTION DES SPECTRES.

Après avoir introduit, dans le vase à décharge, les électrodes du métal que nous voulons étudier, et rétabli toutes les connexions électriques, nous mettons en marche la trompe à eau ; en quelques minutes, elle abaisse la pression de l'air à un centimètre de mercure. A ce moment, le mercure du manomètre tronqué a obturé la communication entre la chambre à haut vide (le tambour) de la pompe Gaede, et la trompe à eau. Nous envoyons du courant continu dans le moteur, qui entraîne le tambour. Après quelques minutes de marche, nous examinons le degré de vide par la forme et la couleur de la décharge dans le petit tube à électrodes *C D* qui est excité par une bobine d'induction de 15 cm d'étincelles, actionnée par un accumulateur de 6 éléments.

Le vase à décharge est réuni aux gazomètres par un système de tubes et de robinets représenté par la gravure ci-dessous.

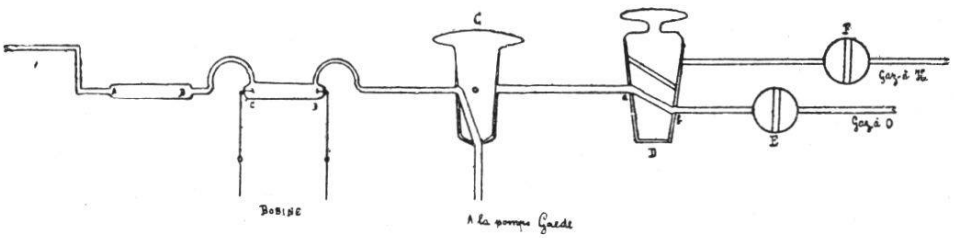

Figure 24.

A B - tube d'anhydride phosphorique.

C D - petit tube à électrodes.

G - robinet à 3 voies (vers la pompe Gaede ; à gauche, vers l'enceinte à décharge ; à droite, vers les gazomètres).

D - robinet de Geissler à 3 voies (vers l'enceinte à gaz ; vers le gazomètre d'oxygène ; vers le gazomètre d'hydrogène).

E F - robinets des gazomètres ; ils sont précédés chacun d'un tube à anhydride phosphorique.

Les gazomètres d'une contenance de dix litres sont complètement en verre ; ils sont remplis par la tubulure inférieure que l'on réunit par un caoutchouc avec le détenteur de pression d'une bombe d'oxygène ou d'hydrogène préparés électrolytiquement. Le gaz contient des traces d'azote.

A la suite du tube desséchant l'hydrogène, est placé, du côté du vase à décharge, un tube de verre contenant une toile métallique à mailles fines, destinée à empêcher qu'une explosion accidentelle se transmette au gazomètre. Les conduites que nous venons de décrire sont complètement en verre. Quelques rodages ont facilité le montage ; cependant plusieurs soudures ont du être faites sur place.[1] Les joints entre les gazomètres et la conduite ont été lutés avec un mélange de carbonate de chaux, de poudre d'amiante et de silicate de potasse, et recouverts de papier d'amiante.

Nous avons utilisé la pompe Gaede, mise en marche par un petit moteur. L'emploi de cet appareil tout récent a facilité considérablement notre travail ; en 10 minutes la pompe évacuait jusqu'au vide cathodique, le vase à décharge en métal. Une rapide description fera bien comprendre le fonctionnement de la pompe.

La pompe rotative de Gaede se compose d'un récipient en fonte à demi rempli de mercure, dans lequel tourne un tambour en porcelaine. Ce tambour est divisé en trois parties communiquant avec l'extérieur par des couloirs en spirale. Le système présente une certaine analogie avec le compteur à gaz, à cette différence près, que dans ce dernier c'est l'écoulement du gaz qui produit le mouvement de rotation, tandis que dans la pompe Gaede, c'est une énergie extérieure qui produit ce mouvement et déplace le gaz.[2]

Le tambour en porcelaine mis en marche par le moteur aspire dans une chambre une partie du gaz, qui est chassée ensuite, par l'arrivée du mercure au cours de la rotation, à l'extérieur du tambour, où elle est enlevée par la trompe à eau.

Pour réunir la pompe avec la conduite, nous avons utilisé un tube

---

[1]) Pour toute cette partie voir TRAVERS, Untersuchungen von Gasen ; Vieweg, Braunschweig.

[2]) Voir le catalogue spécial d'appareils pour la production d'un vide très élevé. Leybold's Nachfolger, Köln.

de cuivre retroussé et souple ; les joints entre le métal et le verre ont été garnis avec de la glu marine.

Le robinet *C* est placé dans le premier stade comme l'indique la figure ; il fait communiquer la pompe Gaede avec le vase à décharge et obture la communication de celui-ci avec les gazomètres.

Lorsque le vide est tel que la phosphorescence cathodique, jaune et intense éclaire le tube, nous tournons le robinet à 3 voies *C* de façon que la conduite soit en communication avec les gazomètres dont les robinets (*F* ou *E*) sont soigneusement fermés. Le gaz contenu dans la partie (*E C* ou *F C*) se détent dans toute l'enceinte ; nous remettons alors le robinet *C* dans sa position primitive, et nous attendons que la pompe pneumatique ait ramené le vide au même degré qu'avant l'opération que nous venons d'indiquer. Cette manœuvre est répétée trois fois de façon à éliminer l'air qui peut se trouver dans les conduites. Quand après la troisième manœuvre le degré du vide est de nouveau satisfaisant, on ouvre le robinet du gazomètre d'oxygène, puis lentement le robinet à trois voies. Le gaz s'écoule dans l'enceinte du spectro-déflagrateur. Pendant cette opération comme pendant les précédentes la petite bobine d'induction continue à fonctionner ; sous l'action de l'étincelle, les traces d'hydrogène que peut contenir l'oxygène, donnent de la vapeur d'eau, absorbée par l'anhydride phosphorique placée à la suite du petit tube à décharge. La trompe à eau, le moteur de la pompe sont alors interrompus. La pression du gaz est mesurée par la hauteur de la colonne d'eau du gazomètre, avec lequel *l'enceinte à décharge est réunie pendant toute la durée de l'expérience.*

Le châssis de la chambre photographique est alors garni d'une demi plaque 13 × 18 coupée parallèlement au grand côté, et introduit dans le spectrographe. La hauteur de la fente a été prise telle que 16 photographies de $2^1/_2$ mm, distantes d'un $^1/_2$ mm l'une de l'autre, couvrent la plaque. (Huit photographies de spectres dans l'oxygène et huit photographies dans l'hydrogène.) Les numéros pairs 0, 2, 4, 6,... 14 sont réservés à l'hydrogène, les numéros impairs 1, 3, 5,.... 15 à l'oxygène. Il est fait tout d'abord, les huit numéros impairs en variant la self-induction de la bobine, de la première touche (court-circuit de la bobine) à la septième (maximum de self-induction employée). Le temps de pose pour chacune des photographies dans l'oxygène a été de 5 secondes, quel que soit le métal étudié. Le courant alternatif exci-

tant la bobine a été maintenu constant pour toutes les expériences (8 ampères sous 58 volts; coefficient de transformation : 245), la pression du gaz était mesurée après l'expérience ; nous n'avons jamais eu de variations qui atteignent plus de 5 $^0/_{00}$ entre la lecture du commencement de l'expérience et celle de la fin. Entre deux photographies successives un temps suffisant s'écoulait, pour que l'échauffement dû aux décharges se dissipe. Lorsque la série des photographies spectrales dans l'oxygène était terminée, le volet du châssis photographique était refermé (ceci pour éviter le voile) et les opérations décrites plus haut étaient renouvelées, afin de remplir l'enceinte à décharge, d'hydrogène.

La plaque photographique est installée pour chaque spectre 3 mm au-dessus de la cote où a été pris pour la même self-induction, le spectre dans l'oxygène. Le temps de pose dans l'hydrogène a été de 20 secondes pour chaque self-induction et chaque spectre.

De suite après nous procédons au développement des clichés. A la suite de plusieurs essais avec l'hydroquinone, le rodinal et la glycine nous avons donné la préférence à ce révélateur.

A)	Eau	1000 cm
	Sulfite de soude anhydre	15 gr
	Glycine	10 gr
B)	Eau	500 gr
	Carbonate de potasse	100 gr

Pour l'usage prendre 4 parties de *A* et une partie de *B*.[3] Le fixage a lieu en liqueur acide, après un abondant lavage.

---

[3]) Nos expériences étaient terminées et notre installation démontée lorsque nous avons appris par la Revue trimestrielle des travaux de recherches effectués dans les laboratoires «Lumière», l'existence d'un nouveau révélateur «le Paraphénylène diamine» qui a la propriété de donner des images à grains très fins, en partant d'une émulsion à grains relativement grossiers. Ce mode de développement pour donner de bonnes images ne peut s'appliquer qu'à des clichés notablement surexposés.

Nous avons fait quelques essais avec ce révélateur en nous servant d'un spectrographe à faible dispersion. Une plaque 9 × 12 Lumière «étiquette bleue» fut coupée en deux parties, exposées l'une après l'autre. La plaque qui devait être développée au paraphénylène diamine fut de 3 à 8 fois surexposée. L'autre demi-plaque fut développée avec un bain normal d'Hydroquinone.

Le développement à l'hydroquinone a duré 7 minutes, au paraphénylène diamine 35 minutes. La composition du bain était :

Les plaques sont lavées à l'eau courante pendant 2 heures ; puis rincées à l'eau distillée et mises dans un endroit à l'abri de la poussière pour sécher.

Chaque plaque est munie d'un numéro correspondant au procès-verbal d'expérience. Une méthode facile pour inscrire sur la plaque les indications nécessaires, est de les noter avec un crayon sur les bords de la plaque, avant le développement. L'action du révélateur fait venir en gris sombre les parties touchées par le crayon.

Dans la première partie de ce travail tout en fixant les conditions optiques de notre installation, nous avons expérimenté différentes marques de plaques, en particulier les plaques «Perorto» de Perutz, Munich, sensibles au jaune et au vert, les plaques «Agfa», soit les «Chromo», soit les «Isolar», les plaques Lumière «Etiquette bleue», les plaques Lumière «Anti-halo», les plaques Lumière Σ (sigma) et enfin dès leur apparition les plaques Lumière «Etiquette violette». Nous avons été satisfaits de toutes ces marques. Pour nos expériences définitives, nous avons donné la préférence aux plaques Lumière «Etiquette violette», en raison de leur grande rapidité, et de la clarté de la couche de gélatine. Ces plaques nous ont rendu un réel service ; celui de pouvoir diminuer le temps de pose, et éviter ainsi l'échauffement trop considérable du gaz.[4]

Eau	1000 gr
Paraphénylène diamine .	10 gr
Sulfite de soude anhydre .	60 gr.

Le fixage s'opère suivant la méthode ordinaire. Les spectres obtenus avec un temps de pose de 4 à 7 fois plus grand furent les meilleurs. La plaque développée a l'aspect des plaques au collodion. En examinant avec un microscope à immersion l'émulsion développée, nous avons pu remarquer que les grains d'argent obtenus par le nouveau procédé sont au moins 4 fois plus petits que ceux de la plaque révélée dans le bain d'hydroquinone. L'agrandissement par projection des plaques développées au paraphénylène diamine est d'une lecture plus facile et plus exacte. Il nous a paru intéressant de noter ces petits essais, et d'indiquer ainsi les sérieux avantages que présente ce procédé, pour la spectrographie et pour les recherches où la surexposition de l'image ne constitue pas un inconvénient pour l'obtention du cliché.

[4]) Le cliché photographique du spectre de l'alliage d'Eder ($Pb + Zn + Cd$) a été obtenu sur une plaque «anti-halo». Parmi les lignes de ces trois métaux, il s'en trouve plusieurs extrêmement intenses ; photographiées sur une plaque ordinaire, elles produisent le phénomène du halo, qui rend le pointé de ces raies

Chapitre II.

LES MÉTHODES DE MESURES ET DE CALIBRATION.

Un spectrographe à prisme fournit des clichés où la lecture des longueurs d'onde ne peut résulter d'une interpolation linéaire. Pour connaître un spectre dans toute son étendue, il faut faire sur la plaque photographique une série de mesures de cordonnées, que l'on transforme ensuite, par le calcul, en longueurs d'onde. Ce travail est long et pénible. Avant de l'entreprendre, on peut se demander si la couche photographique qui a reçu, sèche, l'impression lumineuse, a été déloppée et fixée, lavée et séchée, n'a pas subi au cours de ces manipulations des dilatations ou des retraits qui ont changé la distance relative des lignes.

Il semble, après les travaux que nous indiquons en note, qu'aucune déformation ait été remarquée, qui puisse susciter un doute sur la valeur des travaux spectroscopiques obtenus par la photographie. [5]

Ce point acquis, passons à la méthode de mesure de nos spectrogrammes et à la calibration de nos plaques photographiques. Nous devons distinguer deux points : *la méthode de mesure* qui détermine, en unité métrique, la distance qui sépare les raies l'une de l'autre ; et *la calibration* proprement dite qui transforme la mesure métrique en mesure optique ; qui fait de la cote, obtenue préalablement, une longueur d'onde.

La première opération s'effectue au moyen d'instruments que nous décrirons plus loin. La seconde est l'œuvre du calcul : nous commençons par elle, en supposant connues les cotes n_1, n_2, n_3 des lignes spectrales λ_1, λ_2, λ_3. Soit la formule générale de dispersion :

$n = A + B\,\lambda^{-2}$ où nous portons les valeurs de λ_1, λ_2, λ_3 et de n_1, n_2, n_3, en éliminant les constantes A et B, il vient :

$$\frac{n_1 - n_2}{n_2 - n_3} = \frac{\lambda_1^{-2} - \lambda_2^{-2}}{\lambda_2^{-2} - \lambda_3^{-2}} \text{ en isolant } \lambda_2^{-2} \ldots$$

---

tout à fait incertain. L'emploi des plaques Lumière à pigment rouge, soluble dans l'hydrosulfite de soude, nous a permis d'obtenir un cliché très fin, qui nous a servi ainsi qu'on le verra plus loin à calibrer notre échelle.

[5]) KAYSER, Handbuch der Spektroskopie, I. S. *638*.

EDER et VALENTA, Handbuch der Photographie, Bd. 3, S. 83, et toute la littérature indiquée par KAYSER, loc. citato.

nous avons :

$$\lambda_2^2 = \frac{n_3 - n_1}{\frac{n_2 - n_1}{\lambda_3^2} + \frac{n_3 - n_2}{\lambda_1^2}}$$

Cette formule qui est désignée sous le nom de formule de Gibbs permet de calculer la longueur d'onde d'une raie, lorsqu'on connait les longueurs d'onde de deux lignes voisines et qu'on a mesuré les distances $n_2 - n_1$, $n_3 - n_2$, $n_3 - n_1$, qui séparent les trois lignes. En faisant subir aux λ et aux n la permutation circulaire cette formule d'interpolation devient une formule d'extrapolation [6] utile dans certains cas.

Une autre expression, qui a le mérite d'exiger un calcul moins laborieux, a été établie en 1898 par M. Hartmann.[7]

Soit φ la valeur totale de la déviation d'un rayon, ou mieux soit s la grandeur arbitraire qui sert à mesurer cette déviation φ, nous avons :

$$s = s_0 + \frac{C^2}{(\lambda - \lambda_0)^{\alpha}}$$

ou α est compris entre 1 et 1,2 (nous le posons égal à 1) ;

λ_0 et C^2 dépendent des constantes optiques de l'appareil et s_0 de la position du spectre par rapport à la partie de l'appareil qui sert à la mesure.

L'équation $\lambda = \lambda_0 + \frac{C^2}{s - s_0}$ comprend trois constantes que nous pouvons déterminer en portant les cotes s_1, s_2, s_3, de trois longueurs d'onde connues λ_1, λ_2, λ_3, entre lesquelles nous voulons interpoler. La résolution du système d'équation à trois inconnues nous donne :

$$s_0 = \frac{s_1 (\lambda_1 - \lambda_2)(s_3 - s_2) - s_3 (\lambda_2 - \lambda_3)(s_2 - s_1)}{(\lambda_1 - \lambda_2)(s_3 - s_2) - (\lambda_2 - \lambda_3)(s_2 - s_1)}$$

$$C^2 = \frac{(\lambda_1 - \lambda_3)(s_1 - s_0)(s_3 - s_0)}{s_3 - s_1}$$

$$\lambda_0 = \lambda_1 - \frac{C^2}{s_1 - s_0} = \lambda_2 - \frac{C^2}{s_2 - s_0} = \lambda_3 - \frac{C_2}{s_3 - s_0}$$

---

[6]) KAYSER, Handbuch der Spektroskopie, I, S. 327.

EDER et VALENTA, Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse, S. 53 und 381.

[7]) HARTMANN, Astrophysical Journal VIII (1898), p. 218—221. Über eine einfache Interpolationsformel für das Prismatische Spektrum. Cf. Z. für Instrumentenkunde 19. S. 57 (1899).

La valeur des constantes étant déterminée, nous pouvons introduire dans l'équation des valeurs successives de s, correspondant aux raies de longueurs d'onde inconnues comprises entre les lignes λ_1 et λ_3. L'intervalle choisi pour l'interpolation ne doit pas être trop grand ; pour des différences de 200 à 300 Ångströms, la formule donne d'excellents résultats. Elle est d'un calcul facile et peut servir à établir la courbe de calibration en usage dans la plupart des travaux spectroscopiques.

Pour mesurer les distances des raies entre elles, on se sert de la machine à diviser, munie d'un microscope avec oculaire micrométrique. La machine que nous avions à notre disposition a été construite par la Société Genevoise pour la construction d'Instruments de Physique. La vis a un pas de 1 mm. Sur un tambour avec vernier se lisait le $^1/_{1000}$ de millimètre, le microscope donnait un grossissement de 20 fois. Une glace, ou mieux une plaque émaillée blanche diffusait la lumière du ciel, et rendait aisée la lecture des raies les plus fines. La plaque photographique était fixée à la machine par un support à glissière sur lequel la plaque glissait en faisant passer successivement sous l'objectif du microscope les 16 spectres que contenait une plaque ; ainsi nous pouvions suivre les transformations d'une raie sous l'influence de la self-induction. Mais, nous étions gênés par le manque de champ du microscope qui ne permettait que très difficilement la comparaison d'un spectre avec le précédent, ou plutôt l'antéprécédent puisque les spectres du métal dans l'oxygène et dans l'hydrogène étaient alternés.

Il importait dans notre genre de recherches d'avoir une vue d'ensemble des spectres, où nous pouvions facilement suivre les variations de l'intensité des lignes, sous l'influence de la self-induction, et les étudier comparativement dans les deux gaz. Si nous avions eu à notre disposition un appareil, tel que le spectro-comparateur d'Hartmann, construit par Zeiss [8], nous aurions pu tirer sur deux plaques différentes, le spectre dans l'oxygène et le spectre dans l'hydrogène, et comparativement les étalonner, en notant les différences des spectres. C'était certes la méthode la plus rapide, la plus précise, mais aussi la plus onéreuse. Nous avons utilisé la méthode de calibration que MM. Exner

[8]) J. HARTMANN, Der Spektrokomparator, Zeitschrift für Instrumentenkunde 26, p. 205. 1906.

et Haschek emploient avec succès pour leurs spectres normaux ultra-violets. C'est une méthode de projection qui a l'avantage de laisser apparaître sur l'écran, les 16 spectres que contient une plaque, et de rendre ainsi très faciles, les estimations comparatives d'intensité.

L'installation comprend un appareil de projection et un écran en papier millimétré.[9]

La projection du cliché à mesurer est faite par un objectif de Steinheil $^f/_6$ de 23 cm de foyer. La plaque photographique est supportée par la machine à diviser, au moyen de deux pinces verticales qu'une glissière à crémaillère permet de déplacer dans le plan vertical parallèlement aux lignes. La machine à diviser déplace la plaque dans le plan horizontal, soit dans la direction du spectre, de l'ultra-violet au violet. Comme source de lumière, une lampe à arc automatique de Hefner-Alteneck, (courant continu, 110 volts, 25 ampères) éclaire un condenseur placé derrière le cliché. Le tout constitue une lanterne de projection de Schmidt et Haensch à Berlin. La gélatine du cliché regarde l'objectif.

Celui-ci est monté sur un pied que guide une coulisse ; tout l'appareil est installé sur une table à pied de fonte ; elle même est posée sur un bloc de molasse isolé du plancher pour éviter les vibrations.

A cinq mètres environ de la plaque photographique est placé l'écran; il est constitué par du papier millimétré de 80 cm de haut et de 60 cm de large collé sur un carton ; au-dessous une planche bien lisse fixée une fois pour toute perpendiculairement à l'axe optique, guide le glissement d'une bande mobile de papier millimétré large de 21 cm, longue de 3,50 m qui vient s'enrouler sur deux rouleaux en bois munis de ressorts tenseurs.

La distance entre les rouleaux est de 35 cm. C'est sur la bande de papier millimétré que sont projetés les spectres à mesurer. La partie supérieure de l'écran est immobile, et sert simplement de fond pour les spectres superposés.[10]

Cette méthode a été spécialement employée par MM. Exner et Haschek pour la calibration de spectres normaux où la différence entre les longueurs d'onde est proportionnelle à la distance qui sépare les

---

[9]) Prof Dr. EXNER und Dr. HASCHEK, Wellenlängen-Tabellen für spektralanalytische Untersuchungen. Leipzig 1908, Erster Teil, p. 6.

[10]) Voir au chapitre suivant la photographie du système d'écran.

lignes. Il suffit dans ce cas de porter sur l'écran divisé le spectre du fer, très riche en raies, pour avoir suffisamment de repères entre lesquels on peut interpoler linéairement les longueurs d'onde des raies inconnues. Il faut alors superposer à la photographie du spectre étudié, celle du spectre du fer, de façon à assurer les coïncidences. Nous ne pouvions, dans nos essais, introduire dans l'enceinte à décharge un métal, dont les lignes nous auraient servi de repère ; nous avons préféré user d'un autre moyen qui a l'avantage de nous fournir, premièrement, une calibration de notre papier millimétré, en longueur d'onde ; deuxièmement, une série de repères que nous pourrons employer pour la vérification de nos opérations.

Après avoir indiqué dans ce chapitre les fondements de la méthode de mesure, nous consacrons le chapitre suivant aux mesures elles-mêmes, en étudiant d'abord *la calibration d'un spectre pris comme étalon* et ensuite la calibration des autres spectres.

Chapitre III.
EXÉCUTION DES MESURES.

En suivant la méthode indiquée dans le premier chapitre nous tirons une photographie spectrale de l'étincelle oscillante de l'alliage d'Eder ($Cd + Zn + Pb$). Ce cliché va servir de base à toute notre calibration. Il est introduit dans le porte-plaque de l'appareil à projection, et la tablette de la machine à diviser est déplacée jusqu'à ce que l'extrémité ultra-violette du spectre se projette sur le papier millimétré ; celui-ci a été préalablement coté de 50 en 50 mm jusqu'à la valeur 3750. La ligne du *Cd* 2288,09 fine et nette est amenée sur la cote 2946 mm ; pour effectuer la calibration nous partons de cette ligne en allant vers le rouge. Les raies plus réfractées que celles qui nous servent de point de départ, sont dans l'alliage d'Eder peu visibles et diffuses ; il est plus sûr de ne pas les introduire dans les calculs ; nous les avons donc laissées de côté, en nous proposant de calibrer cette partie de notre échelle au moyen des raies extrêmes du cuivre qui sont nombreuses et plus nettes ; nous en reportons tout d'abord, selon la méthode connue, les longueurs d'onde, en abscisses, et les cotes en ordonnées sur une feuille de papier millimétré. Nous aurions pu appliquer cette méthode pour tout le spectre, de 2000 à 4800 Ångströms ; en prenant, comme représentation moyenne de l'Ångström un millimètre, il nous aurait

fallu une longueur de papier millimétré de plus de 2,80 m de côté. Nous n'avions ni planche à dessin suffisamment grande ni la facilité de répartir les courbes sur un grand nombre de planches. Nous avons préféré calculer les longueurs d'onde et les inscrire directement sur l'écran ; de façon qu'entre deux valeurs successives une interpolation linéaire donne des résultats satisfaisants et rapidement obtenus.

La longueur du papier millimétré que nous pouvons lire sans déplacement est de 36 cm ; sur cette espace, nous notons la cote sur laquelle se projette chaque raie. Le spectre de l'alliage est suffisamment riche pour que nous trouvions dans ces limites les trois raies repères, nécessaires au calcul. Un trait au crayon fixe exactement sur le rouleau la position des raies choisies comme repère, comme aussi, des raies les plus importantes de l'alliage. Le papier millimétré est ensuite déplacé d'environ 30 cm. La machine à diviser permet d'amener exactement la raie repérée la dernière à la cote qu'elle occupait. L'opération continue ainsi de proche en proche. Voici la liste des raies standards qui ont servi à la calibration.

Cd 2288,09	I	*Cd* 3250,51	VII [11]
Cd 2329,36		*Zn* 3303,10	
Pb 2393,90		*Cd* 3403,72	
Pb 2393,90	II	*Cd* 3403,72	VIII
Pb 2446,46		*Pb* 3573,03	
Zn 2502,28		*Pb* 3683,68	
Zn 2502,28	III	*Pb* 3683,68	IX
Cd 2573,18		*Pb* 3854,11	
Pb 2663,22		*Pb* 4019,76	
Pb 2663,22	IV	*Pb* 4019,76	X
Cd 2748,85		*Pb* 4275,40	
Pb 2823,29		*Cd* 4416,91	
Pb 2823,29	V	*Cd* 4416,91	XI
Cd 2881,00		*Zn* 4722,00	
Cd 2980,80		*Zn* 4811,00	
Cd 2980,80	VI		
Cd 3133,50			
Cd 3250,51			

La note 11, voir page 124.

Les chiffres romains désignent les groupes de trois repères qui ont servi aux calculs des constantes de la formule d'Hartmann. Les lignes de longueurs d'onde connues qui se trouvaient entre les repères, ont servi de vérification pour la bonne marche de l'interpolation.

Pour l'extrême ultra-violet du spectre les lignes suivantes ont été choisies comme standards : (comme nous l'avons déjà dit, les cotes ont été réduites en longueurs d'onde au moyen d'une courbe.)

Zn 2062,08	*Cu* 2194,70
Zn 2064,32	*Pb* 2203,68
Zn 2096,9	*Cu* 2210,35
Zn 2100	*Cu* 2218,19
Zn 2104,5	*Cu* 2228,94
Cu 2112,19	*Cd* 2239,91
Cu 2126,12	*Cd* 2247,06
Cu 2136 08	*Cu* 2264,00
Zn 2138,6	*Cu* 2276,36
Cd 2144,50	*Cd* 2288,09
Cu 2179,49	

Les formules étant établies pour toute l'étendue spectrale, nous pouvons facilement calibrer dans toute sa longueur notre papier millimétré ; il suffit de résoudre la formule de Hartmann pour *chaque centimètre de l'échelle* et de reporter la longueur d'onde obtenue sur l'échelle.

Nous avons marqué d'un trait noir les lignes principales du *Pb*, du *Zn* et du *Cd* ; il nous sera dès lors très facile de calibrer séparément chacun de ces métaux, en assurant chaque fois l'exacte coïncidence des repères et des lignes: les autres raies seront interpolées linéairement entre les longueurs d'onde les plus proches, ou mieux entre les valeurs indiquées en longueurs d'onde pour chaque centimètre.

La photographie ci-contre reproduit l'écran divisé tel qu'il nous a servi pour les calibrations. On y lit très facilement les différents repères dont l'emploi est expliqué plus haut.

---

[11]) La ligne 3303,10 est très voisine de la ligne 3302,75 ; le calcul a été fait successivement avec les deux lignes en prenant une côte moyenne, il a été répété avec les valeurs extrêmes. On a choisi les résultats qui donnaient les longueurs d'onde intermédiaires déjà connues le plus exactement.

La calibration des autres métaux, le cuivre, l'étain, l'argent, le nickel, le platine se fait de manière analogue : nous n'avons cependant pas assez de repères pour être assuré tout le long du spectre de l'exacte position de l'image par rapport à l'échelle.

Les longueurs d'ondes qui y sont indiquées ne nous servent plus qu'à reconnaître les lignes les plus intenses de ces métaux, à condition

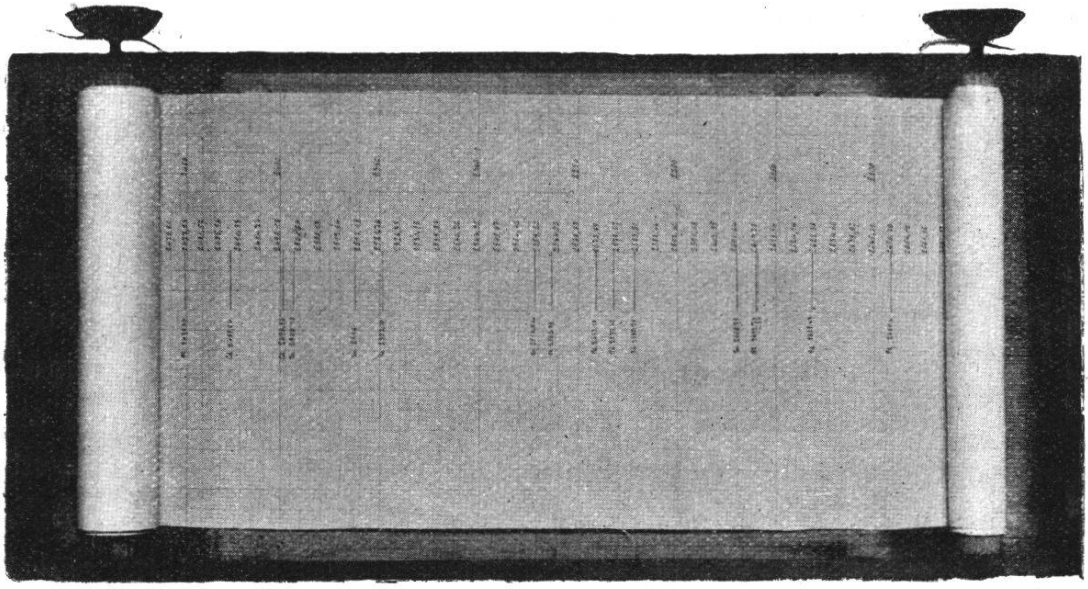

Figure 25.

que préalablement on soit arrivé, en comparant le cliché avec les tableaux de Eder et Valenta, à identifier une ou deux lignes types du spectre à calibrer ; après quelques recherches, brèves avec l'étain, le cuivre, l'argent, plus longues avec le nickel et le platine, on amène les raies connues à la coïncidence avec leurs longueurs d'onde inscrites sur l'échelle, on répète le pointé des raies et la lecture de la cote comme nous l'avons indiqué plus haut. La formule de Hartmann sert à transformer les cotes des lignes en longueurs d'onde.

Chacun de nos clichés contient 16 spectres : nous déterminons en premier lieu les longueurs d'onde des spectres dans l'hydrogène et dans l'oxygène, pour le maximum d'intensité du courant ; puis nous passions aux spectres suivants qui n'offrent que des différences d'intensité dans les lignes.

La méthode d'Exner et Haschek se prête particulièrement bien à l'étude des clichés obtenus selon la méthode de superposition des spectres due à Schumann; d'un coup d'œil sur l'écran on se rend

compte des différences qui se sont produites d'un spectre à l'autre. De plus, la méthode est plus rapide et moins fatigante que la méthode ordinaire. Son emploi demande des précautions ; spécialement pour la calibration des divisions de l'échelle (centimètres) en longueurs d'onde, l'identification doit être très soigneusement faite. On peut reprocher à la méthode de ne pas permettre une lecture plus exacte que le $^1/_4$ de millimètre ; mais cette approximation est tout à fait suffisante ; pour un grossissement de 25 fois cela fait sur la machine à diviser une lecture de $^1/_{100}$ de millimètre ; cette lecture directe sur la machine sera plus difficile et plus douteuse. Les yeux sont fatigués par la lecture au microscope et il est souvent impossible de déterminer l'exacte position du milieu de la raie mesurée.

L'approximation de la lecture et de la cote dépend dans tous les procédés du grain de la plaque et du grossissement, de l'exactitude de la vis ou de la division de l'écran, et surtout de la largeur de la ligne. Dans le procédé d'Exner et Haschek, que nous avons appliqué au spectre prismatique, les erreurs dans la division de l'écran comptent dans le résultat 25 fois moins que les erreurs de la vis. Quant à la lecture d'une ligne large, elle est certainement plus facile ; les lignes spectrales les plus larges sont toutes terminées par une petite pointe fine qui correspond à leur milieu ; la lecture peut se faire très facilement à l'écran sur cette pointe ; tandis que le faible champ du microscope empêche de voir la ligne, grossie vingt fois dans toute sa longueur.

Voici quelques indications sur le degré d'approximation des mesures : vers 2100 Å, $^1/_4$ mm sur l'écran correspond à 0,063 Å, vers 2400 Å, à 0,1 Å, vers 3000 Å, à 0,2 Å, vers 4500 Å, à 0,7 Å.