



A. JOBIN & G. YVON

P19.10

SPECTROMÈTRES ET MONOCHROMATEURS

LISTE DES FABRICATIONS

DÉPARTEMENT POLARISATION :

Polarimètres.
Analyseur elliptique de Chaumont.
Saccharimètres.
Photo-Élasticimètre Mesnager.
Mesure des biréfringences.
Polariscopes pour examen de la trempe des verres.

DÉPARTEMENT PHOTOMÉTRIE :

Colorimètres. Iono-Colorimètre Caille.
Photomètre d'absorption et de diffusion Vernes, Bricq & Yvon.
Photomètre d'absorption V. B. Y., modèle réduit.
Microphotomètre Fabry & Buisson.
Spectrophotomètre G. Yvon.
Photomètre universel Fabry & Buisson.
Nitomètre (mesure des brillances et des éclaircissements).
Densitomètres à cellules.
Électrophotomètre P. Meunier.

DÉPARTEMENT ANALYSE SPECTRALE :

Spectromètres et Monochromateurs, avec graduations en longueurs d'onde pour le visible, pour l'ultra-violet, pour l'infra-rouge.
Grands Spectrographes flint et quartz.
Spectrographe à réseau pour le visible et le proche ultra-violet.
Spectrographe-quartz 9×24 (mesures d'absorption, analyse des métaux, etc.).
Petit Spectrographe-quartz 45×107 . Modèle automatique pour études d'absorption.
Appareils de dépouillement des spectrogrammes (mesures des longueurs d'onde, des densités, observation par microscope ou en projection agrandie).

DÉPARTEMENT MESURES DIVERSES :

Réfractomètres différentiels Amagat. Oléoréfractomètre.
Goniomètres.
Théodolites et Tachéomètres.
Instruments des hauteurs égales.
Interféromètres.
Palpeurs interférentiels Mesnager.
Ophtalmomètre Javal et Schiotz.
Pyromètre Ribaud.
Tensiomètres Lecomte du Noüy.



A. JOBIN & G. YVON

INGÉNIEURS - CONSTRUCTEURS, *Anciens Élèves de l'École Polytechnique*
26, Rue Berthollet, à ARCUEIL (Seine)

Adresse télégraphique : JOBYVONOJ-PARIS

Téléphone : ALÉSIA 58-54

R. C. Seine 210.321 — COMPTE DE CHÈQUES POSTAUX : PARIS 672-50

INSTRUMENTS DE PRÉCISION ET D'OPTIQUE

SPECTROMÈTRES ET MONOCHROMATEURS

TITULAIRES SUCCESSIFS de la Maison

SOLEIL, Père, Fondateur.....	1819-1849
SOLEIL, Fils.....	1849-1872
L. LAURENT.....	1872-1892
A. JOBIN.....	1892-1923
A. JOBIN et G. YVON.....	1923

:: EXPOSITIONS UNIVERSELLES ::

Paris	1889.....	Grand Prix
Paris	1900.....	Grand Prix
Bruxelles	1910.....	Grand Prix
Turin	1911.....	Hors Concours

Membre du Jury

Gand	1913.....	Grand Prix
Strasbourg	1919.....	Grand Prix
Strasbourg	1923.....	Hors Concours



INTRODUCTION

Les instruments décrits dans cette Notice sont destinés à séparer les radiations émises par une source lumineuse à rayonnement complexe.

Ils sont évidemment d'autant plus efficaces qu'ils permettent, d'une part, d'isoler des radiations de longueurs d'onde mieux définies, et, d'autre part, de transmettre ces radiations avec plus d'intensité. L'ensemble de ces deux propriétés — pureté spectrale et luminosité — qui, pour un même appareil, varient en sens inverse l'une de l'autre, peut être représenté par une grandeur unique — P — définie par l'expression :

$$P = Y.B (x) \quad \text{où}$$

— Y est la dispersion angulaire $\frac{dD}{d\lambda}$, dD représentant la différence des déviations en radians, produites par le système dispersif, et correspondant respectivement aux deux faisceaux monochromatiques de longueur d'onde λ et $\lambda + d\lambda$ infiniment voisins.

— B est la largeur, comptée dans le plan de dispersion, du faisceau monochromatique, de longueur d'onde λ , à l'émergence du système dispersif.

Cette grandeur appelée « Puissance », qui varie avec la longueur d'onde, mais qui conserve une valeur constante dans la traversée subséquente des organes optiques convergents ou divergents, joue un rôle capital dans la théorie de tous les instruments utilisant un système dispersif : c'est elle qui, comme on le verra plus loin, règle les possibilités simultanées, de dimensions (angulaires ou linéaires suivant les cas) — de luminosité et de pureté.

Les deux facteurs de la « Puissance » sont directement et facilement accessibles à l'expérience; dans un Spectromètre, par exemple, dont la fente est munie d'un tambour micrométrique, il suffit, pour déterminer Y , d'ouvrir cette fente de façon que deux raies connues, dont les longueurs d'onde voisines diffèrent de $\Delta\lambda$, viennent à se toucher sans empiéter l'une sur l'autre : auquel cas on a :

$$Y = \frac{g.K}{F.\Delta\lambda}$$

g étant le grossissement du système dispersif,
 K l'ouverture de la fente,
 F la focale du collimateur.

(x) Si, comme on le fait souvent, B est exprimée en millimètres et λ en angströms = 10^{-7} millimètres, l'expression de P doit s'écrire : $P = 10^7 Y.B$.



D'autre part, B est la largeur qui paraît éclairée quand on met l'œil à la fente de sortie d'un Monochromateur qui laisse passer les longueurs d'onde voisines de λ .

L'origine de la « Puissance » se trouve dans le *pouvoir dispersif* $\frac{dn}{d\lambda}$ de la matière constituant les prismes, et dans la *traversée efficace* t de ces prismes, c'est-à-dire la différence entre les parcours des rayons extrêmes (pointe ou angle réfringent d'une part, côté opposé d'autre part). Pour chaque prisme considéré individuellement la dispersion angulaire y a pour expression :

$$y = \frac{t}{B} \frac{dn}{d\lambda}$$

La puissance a donc pour valeur : $p = yB = t \cdot \frac{dn}{d\lambda}$.

On démontre facilement que la Puissance totale P d'un système dispersif est égale à la somme des puissances p des prismes constituants :

$$P = \Sigma y B = \Sigma t \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Pour chaque longueur d'onde, la puissance P est déterminée par l'inventaire des traversées efficaces t , affectées chacune du coefficient $\frac{dn}{d\lambda}$ relatif à la matière utilisée, avec le signe moins pour les prismes fonctionnant en sens inverse du sens dispersif de l'ensemble (cas des systèmes à vision directe). Mais cet inventaire, en fixant P, ne fixe que le *produit* YB et non pas chacun des facteurs Y et B. La répartition de P entre ces deux facteurs caractérise la *forme* de la puissance : c'est ainsi, par exemple, que la même puissance est obtenue au moyen d'un seul prisme ou par un train de deux prismes analogues mais de dimensions moitié moindres.

La puissance a même expression numérique que le *pouvoir séparateur théorique*

$$S = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$$

$\delta\lambda$ étant l'écart minimum des longueurs d'onde de deux raies voisines au-dessous duquel les images correspondantes d'une fente infiniment fine cessent, en vertu des lois de la diffraction, d'être distinctes. La séparation angulaire théorique δD est, en effet, donnée par la formule bien connue :

$$\delta D = \frac{\lambda}{B} (x), \text{ or } \delta\lambda = \frac{\delta D}{Y} \text{ d'après la définition de Y; donc } S = YB = P.$$

Ces deux grandeurs — pouvoirs séparateur théorique et puissance — ne doivent cependant pas être confondues, car leurs définitions ainsi que leurs applications sont totalement différentes. Quand,

(x) Si δD est exprimé en secondes, λ en angströms, B en millimètres, la séparation angulaire théorique s'écrit $\delta D = \frac{0,02 \lambda}{B}$.



au lieu d'opérer avec une fente infiniment fine, on utilise une fente de largeur finie, le pouvoir séparateur diminue à mesure que cette largeur augmente, tandis que la puissance ne change pas. Celle-ci s'introduit dans tous les problèmes alors même qu'on opère avec une fente relativement large.

Les considérations générales qui précèdent (x) seront maintenant appliquées à l'étude des deux types d'instruments faisant l'objet de cette Notice.

SPECTROMÈTRES

Ce qui, pour l'observateur, caractérise un Spectromètre — ou un Spectroscope — c'est :

1° L'écart *angulaire apparent* de deux raies dont les longueurs d'onde diffèrent d'un $\Delta\lambda$ déterminé, par exemple 1 Å; cet écart Y' dans l'espace d'observation est la *dispersion angulaire apparente*.

2° La *luminosité* L' avec laquelle apparaissent les raies. Cette luminosité a pour mesure la surface $c.A'B'$ de la pupille instrumentale dans l'espace d'observation (anneau oculaire), A' et B' étant les dimensions de cette pupille parallèlement et perpendiculairement aux raies, c un coefficient variable suivant la forme de la pupille.

Les deux relations fondamentales sont, par suite, dans le cas d'un Spectromètre :

$$\begin{aligned} Y'B' &= P \text{ (invariant)} \\ L' &= c.A'.B'. \end{aligned}$$

La puissance P règle donc ici les *possibilités simultanées* de *dispersion apparente* Y' et de *luminosité* par B' . Avec une puissance déterminée, on dispose d'un produit $Y'B'$ déterminé, et on ne peut augmenter Y' ou B' sans faire un sacrifice sur l'autre grandeur.

La répartition de la puissance disponible entre Y' et B' se fait à volonté par l'organisation de la lunette d'observation dont le grossissement G satisfait aux relations :

$$G = \frac{B}{B'} = \frac{\beta'}{\beta}$$

B étant, comme ci-dessus, la largeur du faisceau à l'émergence du système dispersif, β la largeur angulaire de la raie vue du centre optique de l'objectif de la lunette, et β' cette même largeur angulaire dans l'espace d'observation.

Cette répartition doit toutefois tenir compte de la règle suivante : pour que la séparation angulaire théorique soit effectivement perceptible à l'œil, il faut que, multipliée par le grossissement G , elle atteigne au moins $60''$, moyenne de l'acuité visuelle :

$$G \times \frac{0,02 \lambda}{B'} > 60 \quad \text{d'où } B' < \frac{\lambda}{3.000}$$

Cette règle conduit à une largeur d'anneau oculaire variant de $\frac{8}{3}$ de mm. à l'extrémité rouge du spectre jusqu'à $\frac{4}{3}$ de mm. à l'extrémité violette. C'est une valeur voisine de cette dernière que l'on adopte généralement dans les appareils à grossissement fixe.

(x) Ces considérations ont fait l'objet d'une étude de M. G. YVON parue dans la *Revue d'Optique et instrumentale*, t. XV (1936), 215-230. Voir également G. HANSEN : « Zum Entwurf lichtelektrischer Absorptionsmessgeräte », *Zeiss-Nachrichten*, 4. Folge, 1939.



MONOCHROMATEURS

Ce qui caractérise un Monochromateur c'est, d'une part, l'étendue (1) et, d'autre part, la pureté spectrale des faisceaux monochromatiques issus de la fente de sortie.

Cette pureté peut être définie par l'inverse $\frac{1}{\Delta\lambda}$ de l'intervalle $\Delta\lambda$ de longueurs d'onde, tel que le faisceau émergent ne contienne aucune radiation dont la longueur d'onde diffère de λ d'une quantité supérieure à $\Delta\lambda$ en valeur absolue.

L'étendue W du faisceau dans le plan de dispersion a un maximum imposé par la formule :

$$W = P (\Delta\lambda - m) \text{ où } m = \frac{\alpha^2}{8} \left(\frac{1}{R} - \right) \frac{1}{r} \frac{1}{Y}$$

- α étant l'angle sous lequel la hauteur de fente est vue de l'objectif formant le spectre.
- R étant le rayon de courbure de la fente de sortie
- r — — — de la raie de longueur d'onde λ (2).

Le resserrement m de la tranche de longueurs d'onde pour une pureté $\frac{1}{\Delta\lambda}$ déterminée est rendu nécessaire par la discordance entre les courbures de la fente de sortie et des raies du spectre. L'étude de m montre que, dans certains cas, ce resserrement peut atteindre des valeurs relativement considérables, tandis qu'il est négligeable avec des fentes courbes convenablement calculées.

Dans ce dernier cas, l'expression précédente peut s'écrire :

$$W \cdot \frac{1}{\Delta\lambda} = P.$$

Cette dernière formule montre que la puissance P règle ici les possibilités simultanées d'étendue W et de pureté $\frac{1}{\Delta\lambda}$: fixer le facteur d'étendue W et la pureté $\frac{1}{\Delta\lambda}$ d'un monochromateur, revient à imposer la puissance P du système dispersif. Pour accroître l'étendue W tout en conservant la même pureté, il est donc nécessaire d'augmenter la longueur des traversées efficaces — en supposant choisi le type de matières — c'est-à-dire d'augmenter soit les dimensions des prismes dans le plan de sections principales, soit le nombre de ces prismes.

L'étude de l'étendue V du faisceau dans le plan perpendiculaire au plan de section principale, c'est-à-dire dans le plan contenant les fentes, conduit aux conclusions suivantes : un accroissement de V ne peut s'obtenir que par une augmentation de la hauteur des fentes, de la longueur d'arêtes des prismes, du diamètre des objectifs ou par une réduction de leurs focales.

(1) On sait que l'étendue, dans un plan, du faisceau lumineux émané d'une source — réelle ou virtuelle — et qui est limité par un diaphragme, a pour expression : $\frac{H \times A}{L}$, H et A étant les dimensions respectives de la source et du diaphragme dans ce plan et L l'intervalle qui les sépare. L'étendue conserve une valeur constante dans les différents espaces conjugués optiquement; c'est un invariant.

(2) On sait que, dans tout appareil spectral dont le système dispersif est constitué par des prismes, les raies, images monochromatiques d'une fente droite, sont courbes.



En résumé, on voit que, dans un Monochromateur comme dans un Spectromètre rationnellement établi, toute tentative d'exaltation de l'une quelconque des propriétés entraîne inéluctablement soit un sacrifice sur une autre au moins de ces propriétés, soit un renforcement de la constitution matérielle de ces appareils. Les éléments de renforcement sont variables : il suffit quelquefois d'augmenter le diamètre de certaines lentilles, d'allonger une fente ou de la profiler à une courbure convenablement calculée; il faut le plus souvent agrandir le système dispersif ou multiplier le nombre des prismes. Toutes ces améliorations ont une même conséquence : l'élévation du coût de l'appareil.

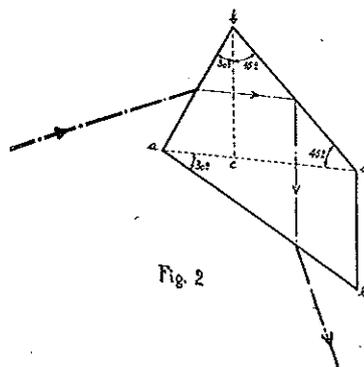
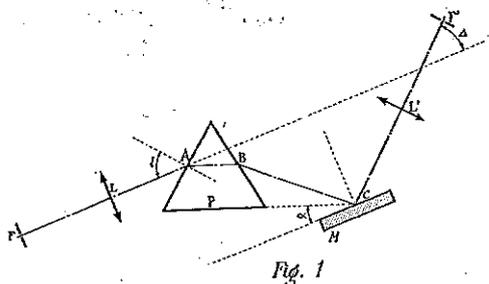
Par ailleurs, pour tirer pleinement parti des qualités d'un appareil spectral, il est nécessaire que certaines conditions soient observées par les dispositifs optiques qui précèdent la fente d'entrée et aussi par ceux qui, éventuellement, peuvent suivre la fente de sortie, par exemple quand un monochromateur est associé à un autre instrument : polarimètre, spectrophotomètre, etc. Les faisceaux lumineux doivent, en effet, conserver, à l'extérieur de l'appareil spectral, même forme et même étendue qu'à l'intérieur.

Il convient, en particulier, que le dispositif optique destiné à l'éclairage de la fente d'entrée soit judicieusement établi suivant l'un ou l'autre des deux schémas suivants généralement adoptés : le premier consiste à former sur cette fente l'image de la source lumineuse à l'aide d'un système optique conçu de manière à fournir une image suffisamment grande pour couvrir toute la fente et un faisceau suffisamment étendu pour couvrir tout l'objectif collimateur. Le second consiste à former, à l'aide d'une lentille placée contre la fente, l'image de la source sur le prisme dispersif.

Sous réserve de certaines conditions, ces deux procédés donnent une luminosité équivalente, mais le second est à employer quand on cherche à obtenir un spectre uniformément éclairé dans toute sa hauteur, alors que le premier permet l'étude spectrale des différentes parties d'une source lumineuse, par exemple d'un arc électrique.

Les appareils figurant dans cette Notice sont classés en trois catégories suivant la région spectrale à laquelle ils sont particulièrement destinés : visible, ultra-violet ou infra-rouge.

Leur système dispersif appartient au type dit « à déviation constante » : il est constitué essentiellement par l'ensemble d'un prisme P et d'un miroir plan M (fig. 1) invariablement fixés l'un par rapport à l'autre. Un rayon lumineux LAB, qui traverse le prisme au minimum de déviation, et se réfléchit ensuite en C sur le miroir M, émerge du système suivant CL'. On démontre aisément que l'angle Δ , que fait le rayon émergent CL avec le rayon incident LA, vaut le double de l'angle α que fait le miroir M avec la base du prisme. Si donc LA est la direction d'un faisceau parallèle composé de diverses radiations et issu d'un collimateur fixe FL de foyer F, seul émergera suivant la direction CL' également fixe le faisceau formé par la radiation monochromatique pour laquelle l'angle d'in-



cidence i sur le prisme correspond au minimum de déviation. Ce faisceau, recueilli par une lunette L'F' dirigée suivant CL', formera de F une image monochromatique à son foyer F'. Il suffira, par conséquent, de faire varier l'angle i , c'est-à-dire de faire tourner l'ensemble prisme-miroir, pour amener successivement en F' les différentes images monochromatiques de F correspondant aux diverses radiations contenues dans le faisceau incident.

Cette propriété des systèmes dispersifs à déviation constante procure aux appareils spectraux où ils sont employés les avantages suivants :

— une fixité absolue du collimateur et de la lunette collectrice.

Cette caractéristique, toujours commode, est surtout intéressante dans le cas fréquent où l'appareil spectral est utilisé en combinaison avec d'autres instruments : polarimètres, spectrophotomètres, etc..., avec lesquels il doit rester aligné.

— une simplicité dans la construction mécanique jointe à une grande précision : le passage d'une radiation à l'autre s'obtient, en effet, par une simple rotation autour d'un axe convenablement choisi.

— la meilleure utilisation du prisme dispersif qui se trouve toujours traversé au minimum de déviation quelque soit le faisceau monochromatique considéré.

Le prisme Broca-Pellin (fig. 2) constitue la réalisation la plus usuelle du système dispersif à déviation constante. Sous sa forme compacte, il équivaut à deux prismes abc , ade d'angles réfringents égaux à 30° , séparés par un prisme à réflexion totale bcd . Le faisceau émergent fait alors avec le faisceau incident l'angle constant de 90° .



SPÉCIFICATION COMMERCIALE

SPECTRE VISIBLE (pages 9 à 19).

Spectromètre avec étalonnage en longueurs d'onde.....
Hémospéctromètre du Professeur Balthazard.....
Spectromètre-Spectographe.....
Monochromateur Bruhat.....
Monochromateur avec fentes à ouverture symétrique.....
Monochromateur avec étalonnage en longueurs d'onde.....
Monochromateur avec étalonnage en longueurs d'onde et fentes symétriques.....
Monochromateur à miroirs avec étalonnage en longueurs d'onde.....
Monochromateur à grande puissance.....
Monochromateur double.....
Monochromateur double étalonné en longueurs d'onde.....

Désignations

« TOSCANE »
« HIBERNIE »
« TOSCANARNO »
« SAVOIE »
« FAUCIGNY »
« SAINTONGE »
« SOLOGNE »
« TREGOR »
« ROUSSILLON »
« ROUERQUE »
« QUERCY »

Accessoires (page 12).

Prisme de comparaison.....
Support pour cuves.....
Support à étrier.....
Lentille condensatrice.....

« PERILLA »
« CYPERUS »
« SAFRAN »
« LINAIRE »

SPECTRE ULTRA-VIOLET (pages 20 à 24).

Monochromateur étalonné en longueur d'onde, type normal.....
Prisme à réflexion totale en quartz dans monture.....
Monochromateur étalonné en longueurs d'onde, modèle à grande puissance....

« GEORGIE »
« TIFLIS »
« CAUCASE »

SPECTRE INFRA-ROUGE (pages 25 à 28).

Monochromateur étalonné en longueurs d'onde, type normal.....
Spectromètre enregistreur, modèle Lecomte du Nofy.....

« GAMBIE »
« MARRAKECH »

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

EMBALLAGE. — L'emballage ordinaire est facturé à raison de 1,5 % de la valeur du contenu; l'emballage maritime, en caisse forte sous zinc, à raison de 3 % de la valeur du contenu.

TRANSPORT, ASSURANCE ET DOUANE. — Les expéditions sont faites en *port dû* et, éventuellement, *assurance due, douane due*.

PAIEMENT. — Nos clients ont le choix entre les deux modes de règlement qui suivent : comptant avec 2 % d'escompte de caisse, ou net à 30 jours de fin de mois de livraison, moyennant les références bancaires d'usage. Toute dérogation à cette règle doit faire l'objet d'un accord avant livraison.



CHAPITRE PREMIER

SPECTRE VISIBLE

SPECTROMÈTRE JOBIN ET YVON

Type à déviation constante, avec graduation des longueurs d'onde sur une spirale

Cet appareil est destiné surtout aux Laboratoires scientifiques ou industriels qui désirent connaître, rapidement et avec précision, les longueurs d'onde des raies de spectres d'émission ou d'absorption.

Il a aussi sa place marquée dans l'Enseignement, où il permettra de familiariser les élèves avec cette notion que chaque raie doit toujours être désignée par sa longueur d'onde.

Il est très lumineux et peu encombrant. Les mêmes artifices, décrits ci-après, ont permis simultanément d'arriver à une extrême simplicité dans le mode d'emploi et à une grande rigueur dans les résultats.

L'instrument est monté sur une colonne à coulant, avec écrou de serrage. Il comporte les organes essentiels suivants :

1° Un collimateur muni d'une fente réglable à ouverture symétrique F. La moitié de cette fente peut à volonté être couverte par un petit prisme pour spectre de comparaison.

2° Dans une boîte en aluminium, étanche aux poussières, un prisme dispersif à déviation constante en flint très dense de 24 mm. d'arêtes réfringentes. Les faces en sont taillées interférentiellement. Ce prisme est monté sur une plate-forme tournante dont la rotation est commandée par le bouton de manœuvre M.

3° Une lunette d'observation avec repère focal et oculaire étanche O. Le repère est susceptible de recevoir un réglage en hauteur au moyen d'une vis à carré Q placée en dessous du plan focal; la clé de manœuvre de ce carré est fixée en T, sur la boîte en aluminium, pour en éviter la perte.

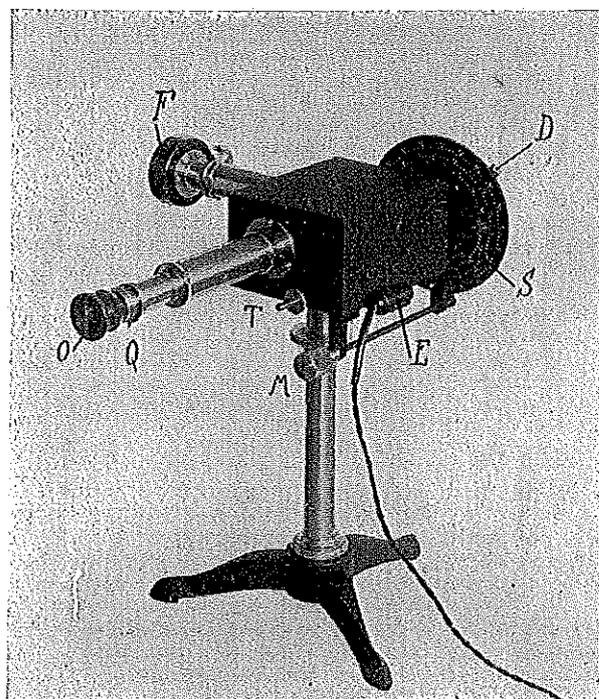


Fig. 3. — Ensemble du Spectromètre.



4° Un plateau à spirale S sur lequel sont gravées les longueurs d'onde de 390 à 800 $m\mu$, tous les $m\mu$. Cette spirale a un développement de 1 m. 20, alors que le plateau a seulement un diamètre de 0 m. 13. Les longueurs d'onde relatives au rouge sont gravées sur la partie externe de la spirale, celles qui sont relatives au violet sur la partie interne; il s'établit ainsi une certaine compensation entre la décroissance du rayon de la spirale et la croissance de l'angle de rotation relatif à 1 $m\mu$ quand on parcourt le spectre; les distances entre deux traits successifs, vers 800 et vers 390, sont à peu près dans le rapport de 1 à 4, tandis qu'elles seraient dans le rapport de 1 à 13 environ si l'inscription était faite, par exemple, sur une hélice enroulée sur un cylindre.

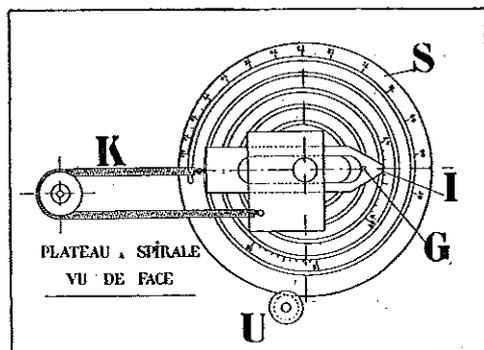


Fig. 4. — Plateau à spirale vu de face.

La graduation est en blanc sur fond noir et se lit commodément à la distance de 30 cm. Sur le côté de la boîte en aluminium est disposée une petite lampe électrique E pour l'éclairage des divisions; cette lampe est inutile en salle éclairée. Au cas où la graduation aurait perdu sa blancheur, on pourrait sans inconvénient la laver avec de l'eau, mais non avec de l'alcool.

5° Un dispositif à débrayage D pour la mise en accord éventuelle de la graduation et du spectre.

MODE D'EMPLOI

Agir sur le bouton de manœuvre M pour pointer une raie quelconque, c'est-à-dire pour l'amener au repère focal. Mettre l'oculaire au point simultanément sur le repère focal et sur la raie. Perfectionner, s'il y a lieu, le pointé de la raie. Lire sur la graduation en spirale, devant l'index I, la longueur d'onde de la raie ainsi pointée. Cette raie est toujours fournie par un faisceau qui a traversé le prisme au minimum de déviation (propriété connue des prismes de cette espèce).

PARTICULARITÉS OPTIQUES

Le collimateur et la lunette d'observation comportent des téléobjectifs à trois lentilles L_1, L_2, L_3 (fig. 6) ce qui réduit beaucoup les dimensions : alors que les distances focales équivalentes de ces téléobjectifs sont de 250 mm. environ, les longueurs réelles sont seulement de 160 mm.

En outre, ces téléobjectifs sont apochromatiques : toutes les raies se forment dans le plan focal contenant le repère focal R. Cette disposition permet de supprimer toute manœuvre de mise au point autre que celle de l'oculaire : la fente, les six lentilles et le repère focal sont absolument fixes. Ainsi sont éliminés radicalement les désaxages et les erreurs de mesures qui résulteraient du déplacement de l'un quelconque de ces organes. Le repère focal (fig. 5) est constitué par une échancrure à trois largeurs découpée dans un diaphragme noir; la plus faible des trois largeurs est légèrement plus grande que la largeur usuelle des raies. Une raie est amenée au repère correctement lorsqu'elle est bien dans l'axe de l'échancrure; à ce moment, cette raie est visible dans toute sa hauteur (cela exige un réglage en hauteur convenable du repère : voir ci-dessus 3°). On a ainsi un aspect très caractéristique qui fixe avec rigueur le pointé de la raie.

D'autre part, grâce à ce dispositif, le repère apparaît dans la lumière même de la raie à pointer, sans autre éclairage dont la couleur serait plus ou moins diffé-

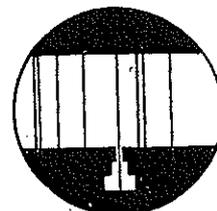


Fig. 5.
Aspect du champ



rente; de sorte que l'oculaire peut être mis au point simultanément sur le repère et sur la raie, sans parallaxe. Ce résultat n'avait jamais encore été obtenu et il augmente évidemment beaucoup la précision des mesures.

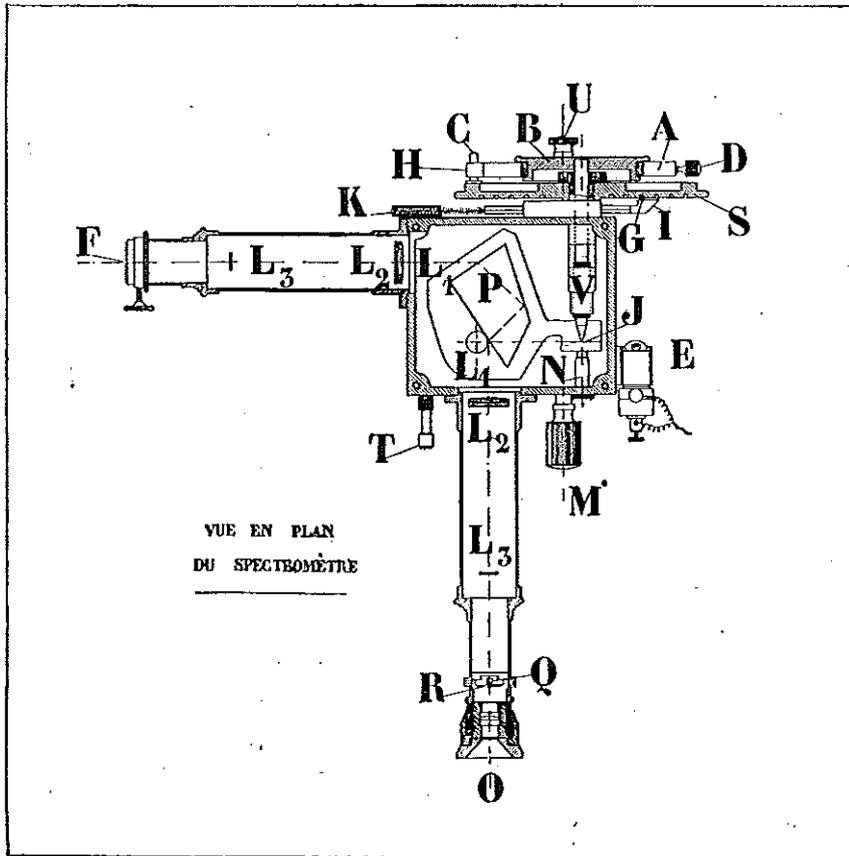


Fig. 6. — Vue en plan du Spectromètre.

PARTICULARITÉS MÉCANIQUES

Le bouton de manœuvre M, entraîne, au moyen d'un pignon moleté, le plateau à spirale S.

La rotation du plateau à spirale S déplace le chariot horizontal portant l'index I, car ce chariot est muni d'un grain d'acier G qui circule dans la spirale et se trouve ainsi entraîné; un ressort oblique K rappelle le chariot.

Par ailleurs, le plateau à spirale S porte un doigt cylindrique C qui entraîne la fourche H de l'anneau A. Cet anneau repose sur une gorge du bouton axial B calé sur la vis de commande V.

Lorsque le bouton latéral D est vissé à fond (position de service) l'anneau A et le bouton axial B sont solidaires. Dans ces conditions, la rotation du plateau S entraîne la rotation de la vis V; cette vis ou son ressort antagoniste N déplacent alors le bras J fixé sur la plate-forme du prisme P (le contact de la vis V et du bras J se fait par ses surfaces d'acier trempé et rectifié qui doivent toujours être légèrement grasses, sans aucune poussière); le prisme P tourne donc, ce qui amène au repère focal successivement toutes les raies du spectre. En définitive à toute position du plateau à spirale S correspondent, simultanément et



A la sortie du prisme dispersif, le faisceau lumineux peut :

— soit — manette M à sa butée marquée V — entrer directement dans la lunette du Spectromètre pour y donner un spectre qui est observé visuellement;

— soit — manette M à sa butée marquée P — être coudé à angle droit vers le bas par un réflecteur. Il traverse ensuite un objectif photographique et, après une seconde réflexion sur un miroir plan situé à la partie inférieure de l'appareil, il vient former un spectre ayant 6 cm. environ de longueur entre 3.800 et 8.000 Å sur une plaque sensible — format $6 \frac{1}{2} \times 9$ cm. — Celle-ci est montée dans un chariot

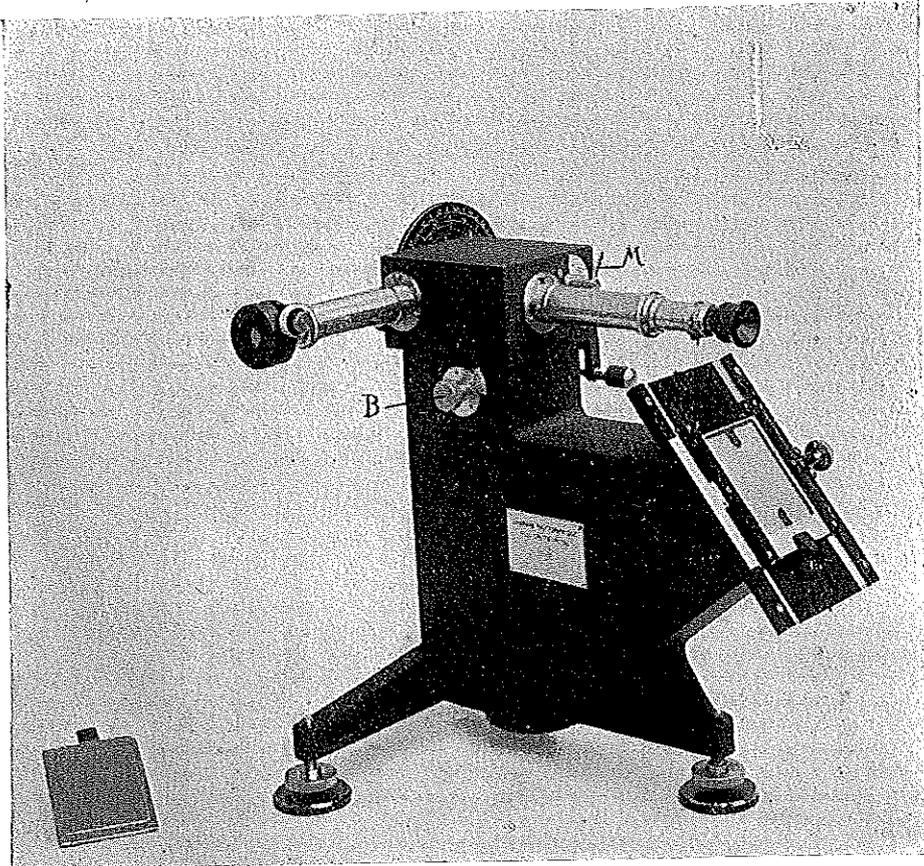


Fig. 9.

mobile dans le sens des raies, ce qui permet de photographier un grand nombre de spectres sur la même plaque. Enfin, l'inclinaison à 45° du plan suivant lequel se forme le spectre, en rend l'observation sur verre dépoli particulièrement aisée.

La mise au point du spectre sur la plaque photographique s'obtient par la manœuvre du bouton B, à tambour divisé, qui commande le déplacement suivant son axe de l'objectif de chambre.

Désignation : « **TOSCANARNO** ».



MONOCHROMATEURS

MONOCHROMATEUR type Bruhat.

Cet instrument (*fig. 10*), qui constitue le type le plus simple des séparateurs de radiations, est surtout destiné à isoler des raies assez distantes émises par une source lumineuse à spectre discontinu, telle que l'arc à vapeur de mercure. Il peut également servir à découper dans un spectre continu des bandes d'une certaine largeur spectrale. Son optique comporte :

— un prisme de Pellin-Broca identique à celui des Spectromètres « Toscane »;

— deux objectifs achromatiques d'ouverture 20 mm. et de focale 130 mm. au collimateur et à la lunette.

— enfin une lentille éclairante E destinée à former l'image de la source lumineuse sur la fente F du collimateur. Pour faciliter cette mise au point, la lentille E peut coulisser dans un tube fixé sur l'avant du collimateur et portant une virole tournante échancrée qui permet d'apercevoir la fente.

Celle-ci est, dans le modèle normal « Savoie », constituée par deux plaquettes taillées en biseau dont on peut faire varier l'écartement après avoir desserré les vis qui fixent l'une d'elles.

L'orifice de sortie S est formé par un trou circulaire dont le diamètre est, en principe, égal à la largeur de la fente d'entrée. Cette dimension commune est normalement choisie de manière à réaliser

l'affrontement sans empiètement des raies jaune $\lambda = 0 \mu 577$ et verte $\lambda = 0 \mu 546$ du mercure. La rotation du prisme intérieur fait défiler le spectre sur le trou de sortie, qu'une échancrure pratiquée dans le tube de la lunette permet à l'opérateur d'apercevoir.

Cette rotation est repérée sur un tambour micrométrique T porté par la vis de commande et muni d'un couteau de lecture R portant une division.

L'opérateur peut étalonner son monochromateur au moyen de cette règle et de ce tambour ou, simplement, noter les divisions qui correspondent aux raies qu'il utilise.

La mise au point du spectre dans le plan du trou de sortie s'obtient à l'aide de deux boutons B placés latéralement sur le corps de la lunette; il faut d'abord desserrer les boutons, puis les mouvoir axialement pour faire coulisser l'objectif, enfin les rebloquer quand la mise au point a été réalisée.

L'appareil est monté sur colonne de hauteur réglable portée par un trépied en fonte.

Monochromateur type Bruhat.

Désignation : « SAVOIE ».

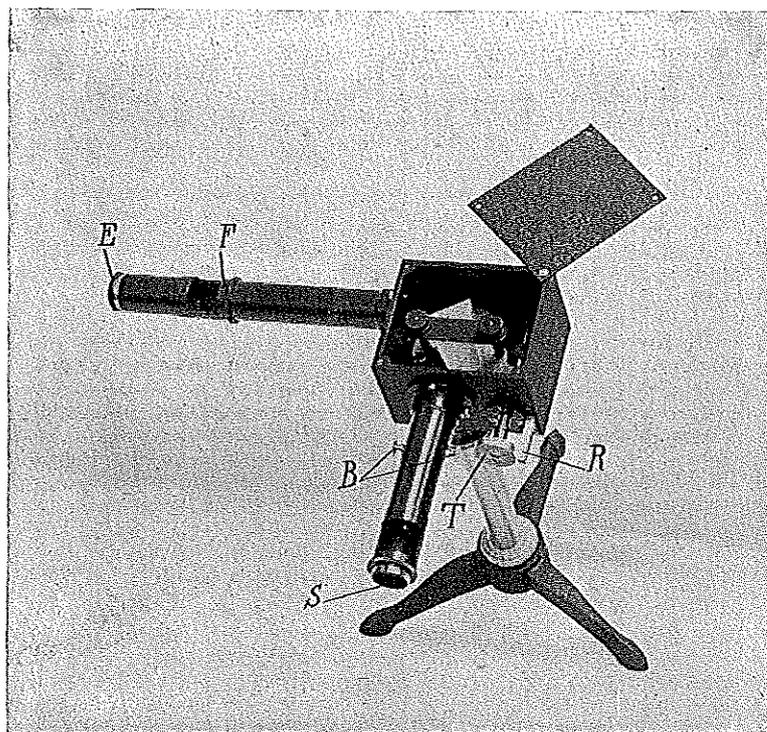


Fig. 10.



La première moitié comprend : une fente S fixe, à ouverture symétrique, placée au foyer d'un objectif O_1 — diamètre 40 mm. focale 120 mm. — corrigé d'aberrations sauf de chromatisme. Le faisceau parallèle émergent de O_1 traverse un premier prisme P_1 , fixe, d'angle dispersif 30° , dont la face d'entrée est normale au faisceau, puis un second prisme P_2 identique à P_1 et semblablement disposé par rapport aux rayons lumineux : il est enfin recueilli par l'objectif O_2 , identique à O_1 , qui forme de la fente d'entrée S une image monochromatique sur la fente Σ .

Le prisme P_2 et l'objectif O_2 sont montés sur un bras qui, entraîné par la chariotement de Σ , pivote autour d'un axe vertical de manière à maintenir constamment la face de sortie du prisme P_2 normale au faisceau monochromatique venant converger en Σ sur l'axe optique de O_2 . Celui-ci peut,

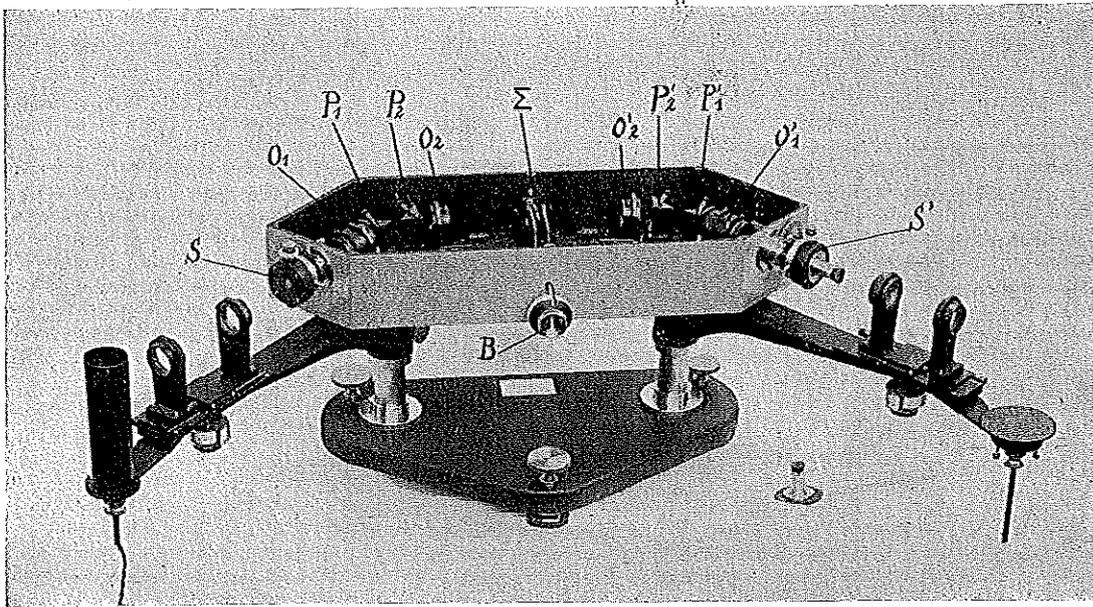


Fig. 13.

comme l'objectif O_1 , se déplacer axialement sous l'action de cames dont le profil assure automatiquement leur mise au point correcte pour la radiation utilisée.

La seconde moitié de l'instrument comporte les mêmes éléments optiques : objectifs O_1' et O_2' , prismes P_1' et P_2' , symétriques respectivement des objectifs O_1 et O_2 et des prismes P_1 et P_2 .

De la fente de sortie S_1 émerge un cône lumineux monochromatique fixe dans l'espace et dont il suffit, pour faire varier la longueur d'onde, de déplacer, au moyen du bouton B , la fente intermédiaire Σ . Celle-ci est d'ailleurs placée entre deux lentilles de champ qui assurent continuellement la conjugaison optique réciproque des objectifs O_2 et O_2' . Tout le dispositif optique et mécanique décrit plus haut est enfermé dans une caisse étanche en aluminium fondu, d'où émergent seulement les fentes et les organes de manoeuvre; cet ensemble est porté par deux fortes colonnes fixées sur un socle qui repose par trois vis calantes sur des crapaudines.



Deux bras, alignés l'un suivant l'axe du collimateur SO_1 , l'autre suivant l'axe du collecteur O_1S' , portent les organes optiques nécessaires à l'éclairage correct de la fente d'entrée et à l'utilisation du faisceau émergent.

Monochromateur double à optique en verre.

Désignation : « **ROUERGUE** ».

Le même appareil peut être fourni avec étalonnage en longueurs d'onde gravé sur une spirale qui remplace le bouton B.

Désignation : « **QUERCY** ».

Enfin ce Monochromateur double peut être établi avec une optique de quartz afin d'être utilisable également dans l'ultra-violet.

Désignation : « **BOCAGE** ».



CHAPITRE II

SPECTRE ULTRA-VIOLET

MONOCHROMATEURS POUR L'ULTRA-VIOLET

1^o **MODÈLE NORMAL.** — Cet instrument (voir *fig. 14*) appartient au type à déviation constante, mais le montage optique adopté donne à cette déviation la valeur de 180° , au lieu de 90° , généralement usitée. Cette disposition nouvelle procure les avantages suivants : suppression de l'élargissement dissymétrique des raies spectrales — coma — et facilité de réalisation d'un montage à vision directe, comme il sera dit plus loin.

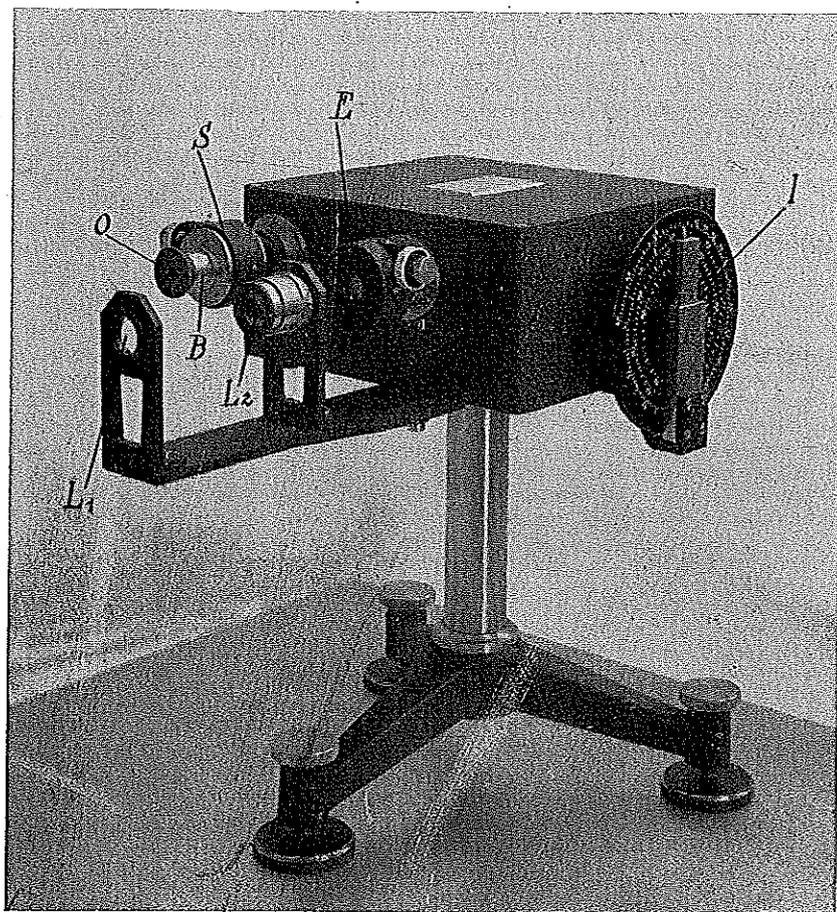


Fig. 14.

Les systèmes collimateur et collecteur sont constitués par des miroirs en aluminium dont le pouvoir réflecteur reste, dans tout le domaine spectral considéré, voisin de 85 %. Ces miroirs assurent une conjugaison optique des fentes d'entrée et de sortie complètement indépendante de la longueur d'onde. La simplicité d'emploi de l'instrument s'en trouve notablement accrue, ainsi que la précision de l'étalement, puisqu'il suffit, pour passer d'une longueur d'onde à une autre, d'agir sur un seul organe : le plateau à spirale dont la rotation commande celle de la plate-forme supportant le prisme dispersif et le miroir plan. Les organes optiques sont enfermés dans une boîte en aluminium fondu, étanche à la



lumière et à la poussière. Cette boîte est portée par une forte colonne montée sur un trépied à trois vis calantes. La figure 15 représente une vue de l'appareil, couvercle enlevé.

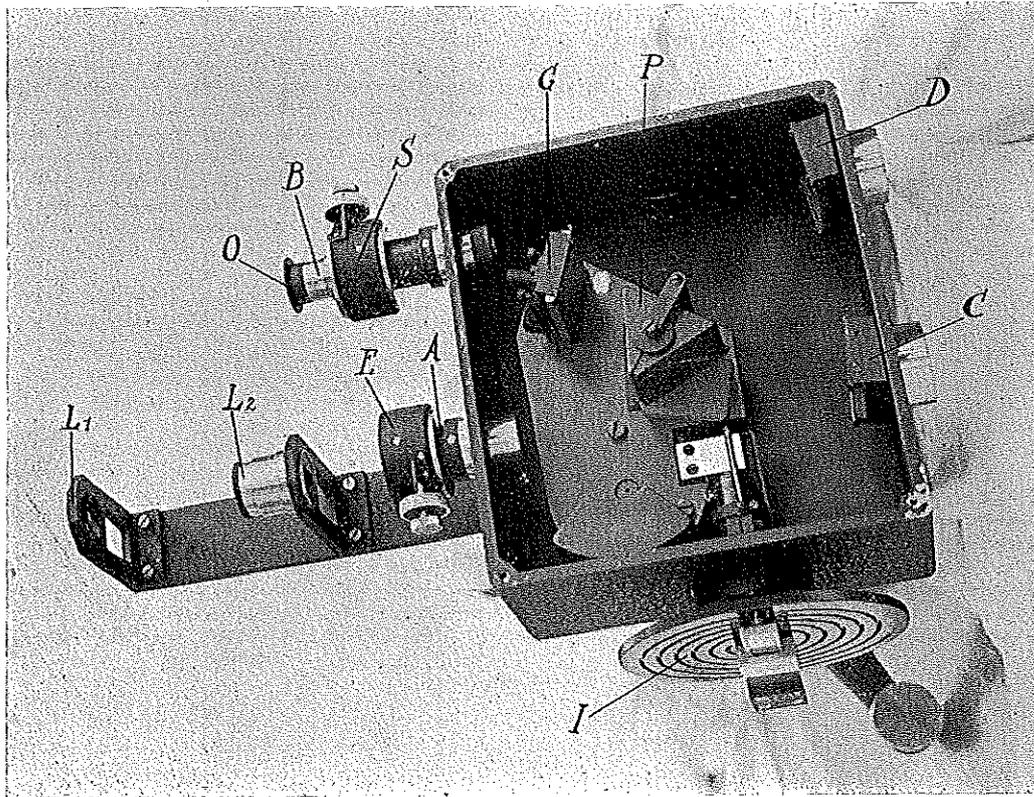


Fig. 15.

- L₁ et L₂** Lentilles en quartz formant sur la fente d'entrée E l'image de la source lumineuse : entre L₁ et L₂ peuvent se placer éventuellement les absorbants à étudier qui se trouvent traversés par de la lumière parallèle.
- E** Fente d'entrée *courbe*, hauteur 10 mm. à ouverture symétrique mesurée au 1/100^e de mm. sur un tambour divisé.
- C et D** Miroirs concaves rectangulaires en verre revêtu d'aluminium, de distance focale 220 mm., ouverts à $\frac{F}{7}$.
- G** Miroir plan en verre revêtu d'aluminium.

- P** Prisme de Cornu en quartz, à 60°, ayant des faces réfringentes de 50 mm. et 45 mm. de hauteur d'arêtes.
- S** Fente de sortie, *droite*, hauteur 10 mm., à ouverture symétrique mesurée au 1/100^e de mm. sur un tambour divisé.
- I** Plateau portant une spirale ayant un développement de 1 m. 20 le long de laquelle sont gravées les longueurs d'onde de 2.000 à 10.000 Å.
- O** Oculaire adaptable à la fente de sortie pour vérifier — et au besoin, rétablir — sur une raie du spectre visible l'accord entre l'indication de la spirale et la longueur d'onde de cette raie.

Monochromateur pour l'ultra-violet. Modèle normal.

Désignation : « **GEORGIE** ».



Montage à vision directe. — L'adjonction de deux petits prismes à réflexion totale en quartz permet la transformation de l'appareil en monochromateur à vision directe, comme l'indique le schéma figure 16. La place prise sur le parcours de la lumière est particulièrement faible.

Prismes à réflexion totale en quartz, dimensions 16×16 mm., dans montures s'adaptant aux fentes du Monochromateur « Géorgie ».

Désignation : « **TIFLIS** ».

Monochromateur double (fig. 17). — L'agencement mécanique permet d'accoupler deux monochromateurs de ce type sans adjonction d'aucune pièce nouvelle; l'ensemble ainsi formé constitue un monochromateur double qui, inversement, peut en quelques minutes se dédoubler en deux monochromateurs simples identiques. Cette organisation possède ainsi une souplesse qui lui permet de s'adapter aux besoins variés et variables des laboratoires; elle facilite, d'autre part, certaines études, par exemple celles des propriétés des monochromateurs eux-mêmes, telles que coefficients de transmission, proportion de lumière diffusée, etc...

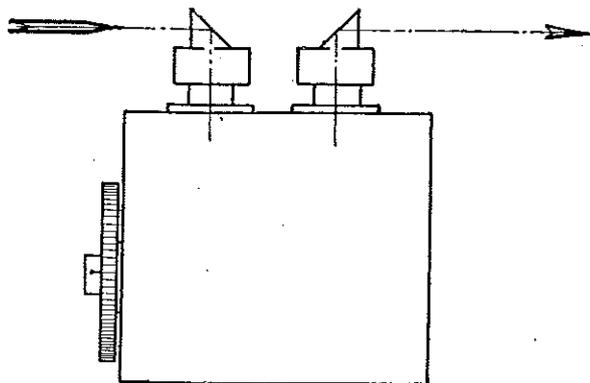


Fig. 16.

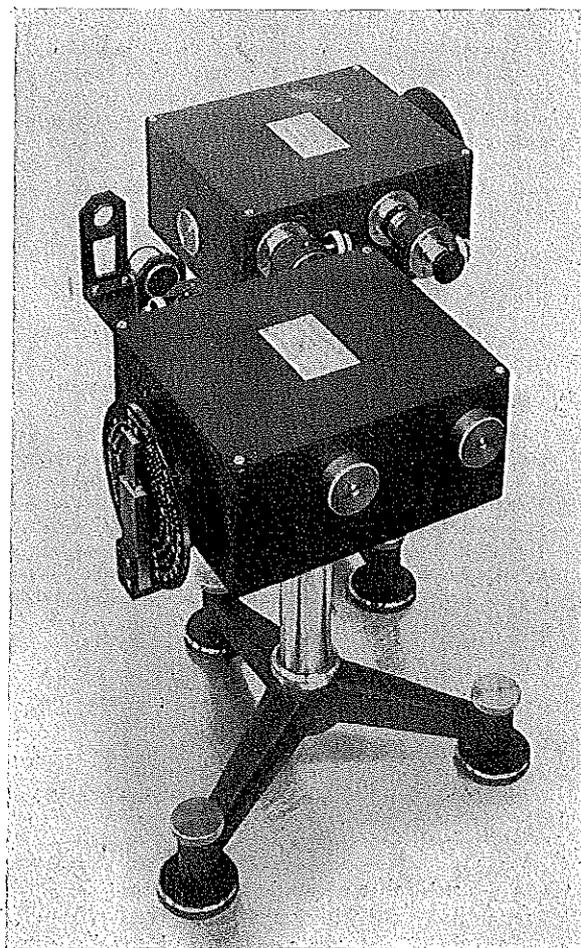


Fig. 17.

Réalisation d'un monochromateur double à l'aide de deux monochromateurs simples.

Chaque Monochromateur comporte deux fentes à ouverture symétrique : la première, en suivant le sens de propagation de la lumière, est dite fente d'entrée E, la seconde, d'où émerge le flux lumineux monochromatique, est dite fente de sortie S. Ces deux fentes, d'aspect extérieur identique, diffèrent par les points suivants :

- a) Les lèvres de la fente d'entrée E ont leurs biseaux tournés vers l'intérieur de l'appareil; celles de la fente de sortie S ont leurs biseaux tournés vers l'extérieur;
- b) La fente d'entrée E est courbe, la fente de sortie S est droite.

Sur chaque fente, qu'elle soit d'entrée ou de sortie, peuvent être montés, d'un côté ou de l'autre au moyen de trois vis, deux tubes portant une collerette;

- 1° Un tube A de gros diamètre, qui peut s'engager dans une fourrure à collier de serrage portée par les parois du Monochromateur et rendre ainsi la fente solidaire de l'appareil.



2° Un tube B refendu, de plus faible diamètre, destiné à recevoir un oculaire visant dans le plan de la fente et des raies.

Lorsqu'un Monochromateur est utilisé isolément, la fente E, qui se trouve en prolongement du bras portant les lentilles de projection, est munie d'un tube A seulement; la fente S, d'un tube A et d'un tube B.

Pour réaliser un Monochromateur double à l'aide de deux Monochromateurs simples M_1 et M_2 :

1° Enlever le bras portant les lentilles de projection du Monochromateur M_2 : il suffit de dévisser les trois vis qui le fixent sous la plateforme du Monochromateur.

2° Déchausser, après avoir libéré son collier de serrage, la fente E_2 . Démontez le tube A de cette fente et le remonter sur la face opposée de manière que les biseaux des lèvres se trouvent à l'extérieur. Prendre garde de bien mettre en regard les repères correspondants tracés à la pointe, l'un sur la collerette, l'autre sur la fente.

Monter sur l'autre face de cette fente le tube B, enlevé de la fente S_2 , en prenant la même précaution que ci-dessus.

Remettre en place la fente E_2 ainsi modifiée de façon que ses lèvres se trouvent dans le même plan que primitivement, le tambour des divisions se trouvant à droite et en bas comme l'indique la figure 17.

3° Déchausser la fente S_2 , enlever son tube A et le remonter sur la fente S_1 , en observant ici encore la superposition des repères correspondants.

4° Poser les deux Monochromateurs sur une table bien plane, les amener tous deux de niveau et à même hauteur au moyen des vis calantes, de manière que le tube A, porté par S_1 , puisse venir s'engager sans forcer dans le collier de S_2 . L'enfoncer jusqu'à ce qu'il y ait conjugaison optique entre les deux fentes du Monochromateur M_2 . Pour le vérifier, observer un spectre de raies à l'oculaire porté par E_2 . Serrer enfin le collier de S_2 et rectifier, si besoin est, au moyen des vis tirantes et poussantes des miroirs de M_2 , l'accord entre les raies et la spirale.

2° MODÈLE A GRANDE PUISSANCE (fig. 18).

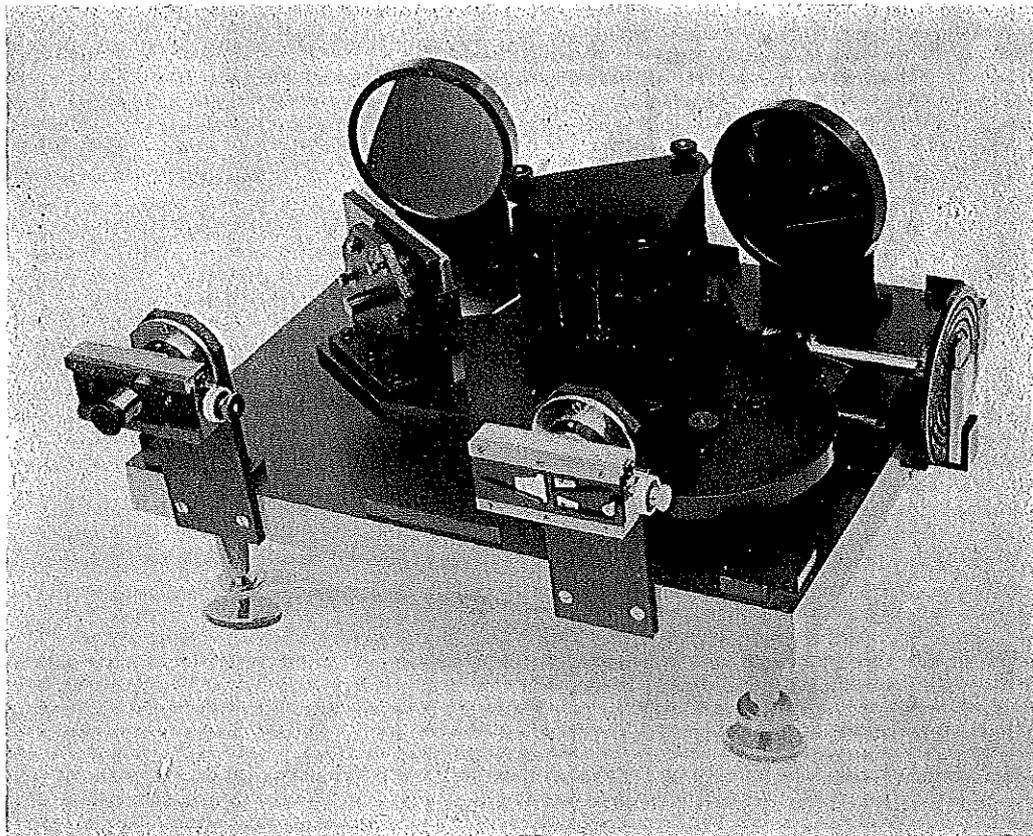


Fig. 18.



Cet appareil, dont l'organisation optique générale est analogue à celle du Monochromateur « Géorgie », diffère de ce dernier par les points suivants :

- la hauteur des fentes est portée à 18 mm.;
- les miroirs en verre aluminé ont une focale de 420 mm. et sont ouverts à $\frac{F}{3,2}$;
- enfin le système dispersif est constitué par la juxtaposition de six prismes de Cornu, identiques à celui du Monochromateur « Géorgie », assemblés comme l'indique la figure, de manière à former un prisme creux d'angle réfringent 60° , ayant 90 mm. de hauteur d'arêtes et 150 mm. de longueur de faces. Cette disposition a pour but d'éviter l'absorption considérable que produirait vers sa base un prisme plein en quartz de cette grandeur.

Cet instrument possède une luminosité qui vaut cinq fois environ celle du modèle normal.

Il est monté sur une plate-forme rigide en fonte d'aluminium portée par trois vis calantes. Un caisson métallique, ne figurant pas sur la photographie ci-dessus, recouvre tout le système optique, le mettant à l'abri de la lumière extérieure et des poussières. Seuls émergent de cette boîte (dimensions 42×52 cm). les deux fentes et le plateau à spirale sur lequel sont gravées les longueurs d'onde de 2.000 à 10.000 Å.

Monochromateur à grande puissance pour l'ultra-violet.

Désignation : « **CAUCASE** ».

N. B. — Comme il a été dit plus haut page 16, ce modèle peut être muni d'un prisme de flint dense en remplacement du prisme composé en quartz et constituer ainsi un monochromateur pour le spectre visible.

Désignation : « **TREGOR** ».



CHAPITRE III

SPECTRE INFRA-ROUGE

MONOCHROMATEUR POUR L'INFRA-ROUGE type normal avec graduation des longueurs d'onde sur spirale (*fig.*) 19.

L'optique, montée suivant le schéma classique des systèmes à déviation constante de 90°, comporte les organes suivants :

— Deux miroirs métalliques concaves — focale 38 cm. — ouverts à $\frac{F}{8,5}$.

— Un miroir métallique plan, dimensions 50 × 35 mm.

— Un prisme à 60° en sel gemme; hauteur d'arêtes : 45 mm., faces de 50 mm.

Ces organes sont enfermés dans une caisse métallique étanche d'où émergent :

— La fente E — hauteur 18 mm. — à ouverture symétrique mesurée au $\frac{1}{100^e}$ de mm. sur tambour micrométrique. Cette fente est munie d'un volet V triangulaire, et d'un mouvement fin d'orientation O.

— Une tige T destinée à supporter la pile thermoélectrique qui se trouve protégée de tout rayonnement extérieure par un tube U qui vient l'emboîter.

— Un plateau S à spirale le long de laquelle sont gravées les longueurs d'onde de 0 μ 6 à 15 μ avec, en outre, un trait de repère pour la raie D. L'organisation de ce plateau à spirale est identique à celle décrite page 11 pour le Spectromètre « Toscane ».

Cet appareil est monté, comme l'indique la figure 19, sur une forte colonne portée par un trépied en fonte de fer.

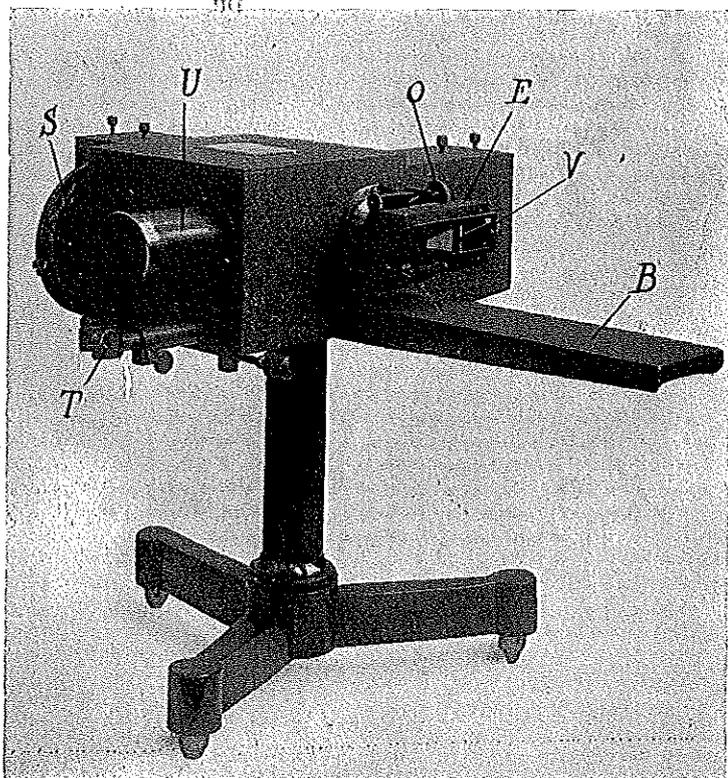


Fig. 19.



Un bras B, situé dans le prolongement du collimateur, est destiné à recevoir les organes optiques — lentilles en sel gemme ou miroir — ayant pour rôle d'assurer l'éclairage de la fente E.

Monochromateur pour l'Infra-rouge sans dispositif d'éclairage ni pile thermoélectrique.

Désignation : « **GAMBIE** ».

SPECTROMÈTRE ENREGISTREUR POUR L'INFRA-ROUGE

Modèle Lecomte du Noüy

Cet instrument, représenté en ordre de marche par la figure 20 et dont l'organisation interne apparaît sur la figure 21, permet d'effectuer, d'une *manière complètement automatique*, des études d'absorp-

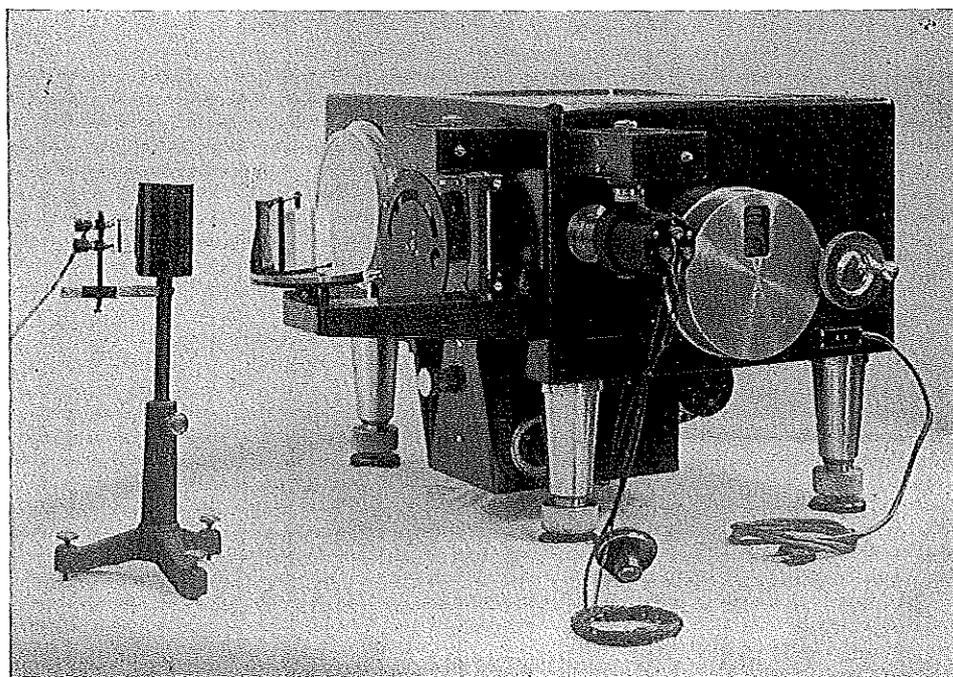


Fig. 20.

tion ou d'émission dans l'ensemble ou dans telle partie que l'on veut d'une région spectrale s'étendant de $0,6 \mu$ à 15μ .

Le système dispersif est constitué par un prisme de sel gemme à 60° — dimensions des faces réfringentes 65×60 mm. — monté, ainsi qu'un miroir plan, sur une plate-forme mobile dont la rotation fait défiler sur la fente de sortie, derrière laquelle se trouve un thermoélément, les images de la fente d'entrée correspondant aux diverses longueurs d'onde, images formées par des miroirs métalliques de focale 300 mm.

ouverte à $\frac{F}{6,5}$.



La pile thermoélectrique est reliée à un galvanomètre dont les déviations sont enregistrées sur un papier sensible enroulé sur un cylindre dont la rotation est liée mécaniquement à celle de la plate-forme portant le prisme dispersif. Ces mouvements sont commandés par un moteur électrique placé sous l'appareil.

Sur le papier photographique est enregistrée d'une manière continue la déviation du galvanomètre provoquée par les flux des diverses longueurs d'onde qui ont traversé l'absorbant,

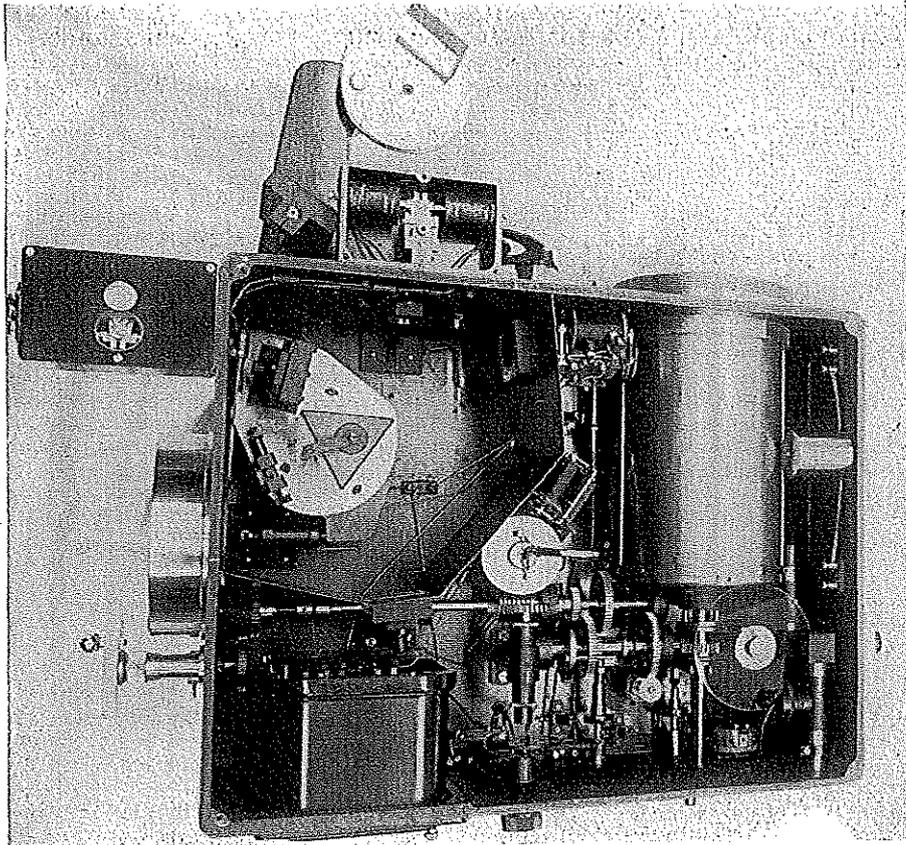


Fig. 21.

Tous les 500 millimicrons un mécanisme spécial détermine l'arrêt du moteur pendant une demi-minute environ. Durant cet arrêt s'accomplissent les services suivants :

- 1° La longueur d'onde s'inscrit en chiffres sur le bord de la feuille;
- 2° La largeur des fentes d'entrée et de sortie subit une variation afin de compenser, au moins partiellement, l'inégalité de rayonnement des sources dans les diverses longueurs d'onde.
- 3° L'absorbant placé devant la fente d'entrée est, dans un premier temps, escamoté et remplacé par une cuve identique à celle de l'absorbant, mais ne contenant que le solvant : le spot marque alors une élongation s ; puis, dans un deuxième temps, remplacé par un opercule opaque : le spot indique alors



en 0 le zéro du galvanomètre; enfin, dans un troisième temps, l'absorbant reprend sa position primitive devant la fente d'entrée et le spot vient en a .

Le rapport $\frac{Oa}{Os}$ donne la valeur exacte du facteur de transmission de l'absorbant pour la radiation considérée. Le moteur se remet ensuite en marche et le spot décrit à partir de a une autre branche de la courbe d'absorption A.

Toutes les manœuvres qui viennent d'être décrites s'opèrent automatiquement et l'appareil s'arrête de lui-même dès que la longueur d'onde, choisie comme limite par l'opérateur, est atteinte.

Une description plus détaillée de cet instrument est adressée sur demande.

Spectromètre enregistreur pour l'infra-rouge modèle Lecomte du Noty.

Désignation : « **MARRAKECH** ».

