

50376  
1960  
25

50376  
1960  
25

- Faculté des Sciences de Lille -  
-----

- ETUDE D'UN INTERFEROMETRE A BALAYAGE MECANIQUE -

- APPLICATION A LA STRUCTURE HYPERFINE DES RAIES D'UNE LAMPE SPECTRALE A CADMIUM -  
-----

- Diplôme d'Etudes Supérieures -

- de Sciences Physiques -

par

Josiane SINCLAIR  
---



- Soutenu le Février 1.960 -

- devant la Commission d'Examen -

MM. ROIG                   Président -

BROCHARD    ) Examineurs

WERTHEIMER )

-----



030 021462 9

- INTRODUCTION -  
-----

Dans ce travail nous avons tout d'abord mis au point un montage interférométrique permettant d'isoler les diverses radiations monochromatiques émises par la source.

Un système enregistreur nous a ensuite permis d'étudier l'intensité lumineuse de ces radiations monochromatiques au cours du défilement des anneaux et par suite le fonctionnement du système mécanique de balayage de l'interféromètre en vérifiant l'équidistance des anneaux.

L'application à la structure hyperfine des raies du cadmium a déterminé la précision de notre appareil.

- I DISPOSITIF EXPERIMENTAL -

-----

Le dispositif expérimental comprend :

- 1) le montage interférométrique
- 2) un système enregistreur
- 3) un système de balayage

1 - MONTAGE INTERFEROMETRIQUE - (figure 1)

Il se compose :

1) Source : ce sera dans nos expériences une lampe spectrale Philips à vapeur de cadmium ou de zinc.

2) Interféromètre de Pérot et Fabry -

Eclairé par une source étendue en lumière convergente l'interféromètre de Pérot et Fabry donne des anneaux localisés à l'infini. Ceci est réalisé par l'ensemble d'un miroir plan M qui permet de couder le faisceau provenant de la lampe spectrale et d'une lentille convergente  $L_1$ .

L'interféromètre est un Pérot et Fabry de chez Jobin et Yvon. Cet appareil est constitué par 2 lames semi-argentées, les faces argentées étant placées en regard. L'une des lames est fixe, l'autre est mobile, portée par un chariot qui est entraîné par une vis micrométrique dont le pas est de 1 millimètre. Le mouvement de translation du chariot est uniforme et conserve le parallélisme des lames.

Le réglage du parallélisme se fait en agissant sur la lame fixe maintenue dans une couronne (figure 2) 3 vis  $V_1$  dont les pointeaux appuient sur 3 lames de ressort solidaires de la couronne permettent un réglage grossier et tendent 3 ressorts de réglage. En modifiant la tension de ces 3 ressorts à l'aide de 3 autres vis  $V_2$  on fait jouer l'élasticité des lames de ressort ce qui permet de parfaire le réglage. Le parallélisme parfait est obtenu lorsqu'aucun anneau ne défile plus au centre quand on déplace l'oeil latéralement dans tous les sens,

Le pouvoir réflecteur des lames a été mesuré dans le bleu en prenant

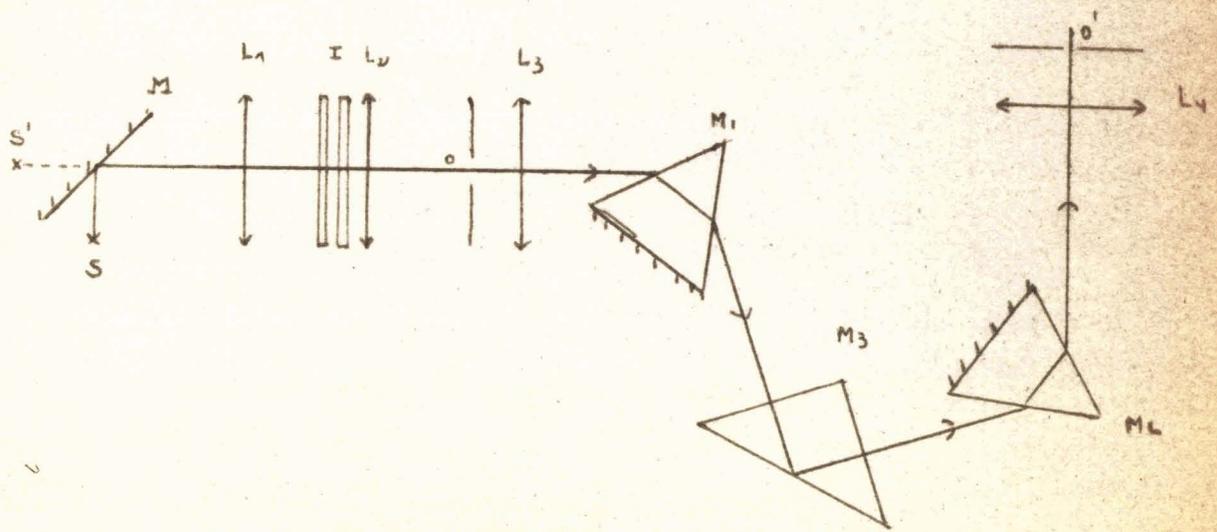


fig 1

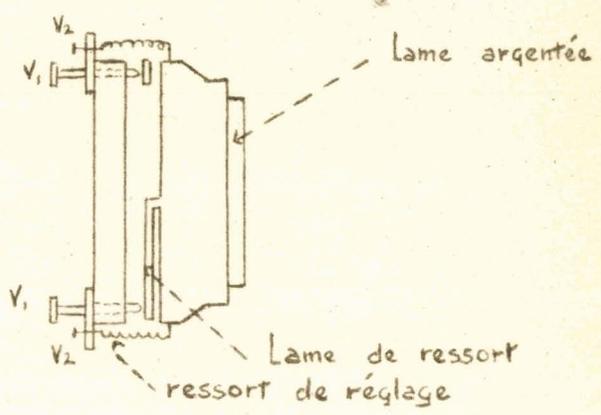


fig 2

comme source une lampe spectrale à vapeur de zinc. Nous avons fait un enregistrement de la raie bleue  $4.722 \text{ \AA}$  du zinc, pour une distance des lames inférieure à 1 millimètre sur lequel nous avons réperé le courant d'obscurité de cellule en plaçant un écran devant la fenêtre d'entrée de celle-ci.

soient  $f$  = pouvoir réflecteur  
 $I_M$  = intensité maximum ) pour 1 anneau  
 $I_m$  = intensité minimum )

nous avons la relation

$$\frac{I_M}{I_m} = \frac{(1 + f)^2}{(1 - f)^2}$$

Ce calcul a donné  $f = 0,74$

On remarquera que les lames semi-argentées étant légèrement bleutées laissent passer plus facilement les radiations bleues, le pouvoir réflecteur s'en trouve ainsi diminué. Ces lames ont un pouvoir réflecteur plus élevé dans le rouge.

Les radiations étudiées n'étant que très légèrement déplacées vers le rouge vis à vis de la radiation  $4.722 \text{ \AA}$  du zinc, le pouvoir réflecteur pour chaque radiation se trouve être pratiquement le pouvoir réflecteur mesuré.

#### Mesure de l'épaisseur de l'étalon de Pérot et Fabry.-

Le chariot sur lequel est placée la lame mobile porte un index qui se déplace le long d'une règle graduée en demi-millimètre. La vis micrométrique est munie d'un tambour gradué en centième de millimètre. L'indication zéro des graduations ne correspondant pas à une épaisseur nulle de la lame d'air il a fallu étalonner l'appareil pour connaître la distance des faces des lames argentées. Sachant que le pas de la vis est 1 millimètre une seule mesure de l'épaisseur de la lame d'air a été nécessaire. Plusieurs mesures ont été faites ce qui a permis de vérifier aux erreurs d'expérience près que le pas était bien 1 millimètre.

La mesure de l'épaisseur de la lame d'air a été faite avec une erreur maximum  $\Delta e \approx 3/100$  de millimètre à l'aide d'un microscope horizontal.

dont l'oculaire a été remplacé par un oculaire micrométrique. Nous avons tout d'abord mesuré la distance  $e_1$  des images des bords des lames données par l'instrument, puis en prenant pour objet une règle graduée la distances des images de deux traits distant de 10 millimètres ce qui nous a permis de déterminer la distance  $e_2$  séparant les images de deux traits distant de 1 millimètre.

L'épaisseur de la lame d'air est alors

$$e = \frac{e_1}{e_2} \quad \text{et} \quad \left| \frac{\Delta e}{e} \right| < \left| \frac{\Delta e_1}{e_1} \right| + \left| \frac{\Delta e_2}{e_2} \right|$$

L'appareil nous permettant de faire nos pointés avec une erreur maximum de 1/100 de millimètre

$$\Delta e_1 < \frac{2}{100} \quad \Delta e_2 = \frac{1}{10} \Delta e_1 < \frac{2}{1000}$$

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{2}{100} \left( \frac{1}{e_1} + \frac{1}{10 e_2} \right)$$

La distance des lames argentées varie entre 6 et 8 millimètres pour les enregistrements faits. Prenons la valeur moyenne  $e = 7,12$  millimètres qui correspond à  $e_1 = 8,41$  mm.  $e_2 = 1,18$  mm.

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{2}{100} \left( \frac{1}{8,41} + \frac{1}{11,8} \right) = \frac{4}{1000}$$

$$e < \frac{3}{100} \text{ mm.}$$

La précision de la mesure peut ensuite être améliorée par les techniques interférométriques classiques. Nous n'avons pas cherché à le faire car l'erreur précédente est inférieure aux erreurs de pointés de nos franges.

### 3) Monochromateur à déviation constante.-

Les anneaux viennent se former dans le plan focal de l'objectif  $L_2$  mais on ne peut les observer directement car les anneaux dus aux diverses radiations y sont superposés. On place à cet endroit un oeilleton  $O$  de diamètre 1 mm. qui limite la partie centrale des anneaux. On peut également diaphragmer les lames par un diaphragme placé en avant de l'interféromètre pour diminuer l'influence des défauts de planéité de

celles-ci. Mais l'appareil est alors moins lumineux.

Un monochromateur donne de l'ocilleton O autant d'images qu'il y a de radiations lumineuses.

Il est constitué par 3 prismes de verre. Les prismes  $M_1$  et  $M_2$  d'angles au sommet  $55^\circ$  et le prisme à réflexion totale  $M_3$ . Les prismes  $M_1$  et  $M_2$  travaillent au minimum de déviation. L'ensemble des 3 prismes peut pivoter autour d'un axe vertical pour lequel le déplacement latéral du faisceau émergent est du second ordre. L'appareil est un monochromateur à déviation constante  $90^\circ$ .

A l'entrée une lentille convergente  $L_3$  permet d'éclairer  $M_1$  en lumière parallèle, les diverses images de l'ocilleton se forment dans le plan focal d'une seconde lentille convergente  $L_4$ .

Ce monochromateur nous a permis de séparer les images de l'ocilleton données par le triplét du cadmium mais non celles données par le triplét du zinc nous avons alors utilisé un monochromateur plus dispersif à 4 prismes.

## 2 - SYSTEME D'ENREGISTREMENT -

Un diaphragme  $O'$  de 1 millimètre de diamètre à la sortie du monochromateur isole une image monochromatique de O et sert de diaphragme d'entrée à un photomultiplicateur IP 21 dont le courant est enregistré par un millivoltmètre speedomax dont l'impédance d'entrée est 3 mégohms. Le photomultiplicateur reçoit le flux lumineux continu et faible envoyé par la radiation monochromatique à étudier.

Le schéma du système enregistreur est donné figure 3.

Le photomultiplicateur est alimenté par un générateur A de haute tension par transformateur redresseur et stabilisateur (figure 4)

Les deux alternances de la haute tension sont redressées par deux diodes visseaux radio. Le filtre est un condensateur de 0,5 microfarad.

La tension est stabilisée par 13 lampes au néon 85 A<sub>2</sub> en série avec 14 résistances de 33.000 ohms dissipant chacune 1/4 watt.

Lorsque les 13 tubes au néon sont en service simultanément l'alimentation fournit 1.500 volts. Un contacteur permet d'enlever un tube au néon et d'ajouter une résistance égale à la résistance interne du tube de sorte que les tubes au néon travaillent à débit constant. On peut

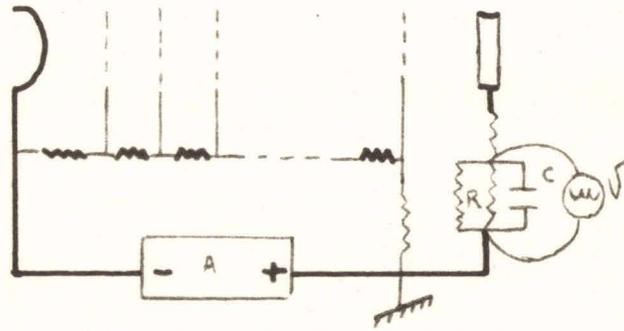


Fig 3

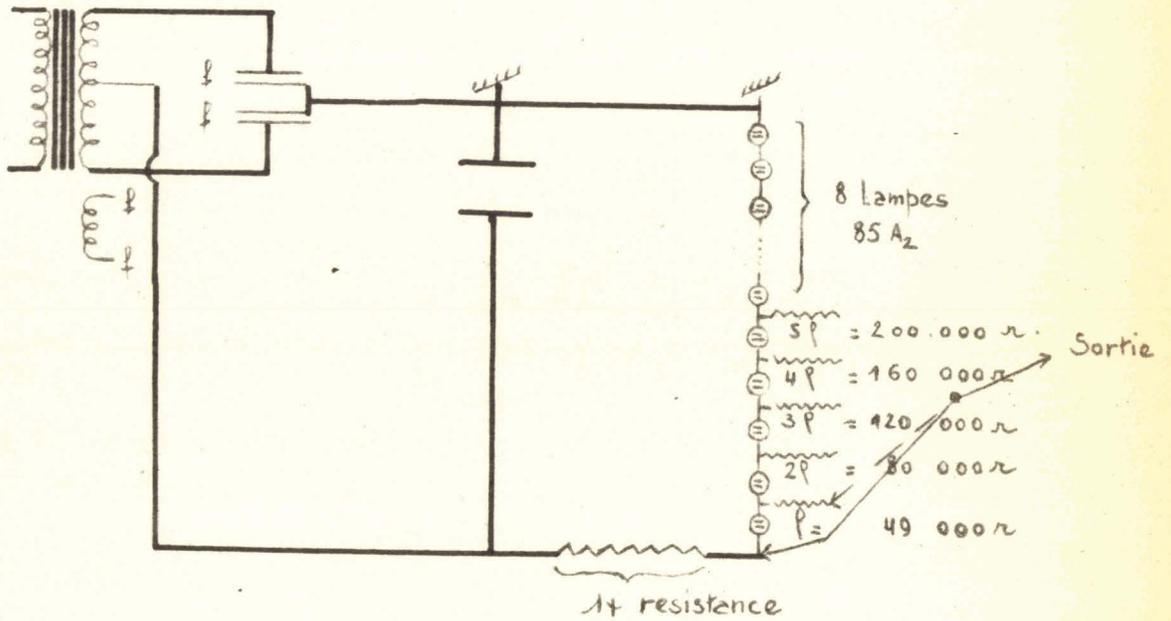


Fig 4

ainsi réduire le nombre de tubes au néon à 7.

Ce contacteur permet d'appliquer sur la cathode du photomultiplicateur une tension stabilisée variant de 1.500 à 700 volts.

Le courant débité par l'anode est mesuré sous forme de différence de potentiel par un millivoltmètre enregistreur speedomax. Cette différence de potentiel est mesurée aux bornes d'une résistance variable R. Un condensateur C en parallèle sur cette résistance a pour but d'augmenter la constante de temps. En effet, l'anode du photomultiplicateur présente par rapport à la masse une capacité très faible dont la constante de temps est très petite. Pour augmenter la constante de temps on a placé le condensateur C dont le rôle est d'absorber les fluctuations dues à des variations rapides d'intensité de la source lumineuse. Une variation brusque de l'intensité provoque une variation de tension sur l'anode qui charge le condensateur C. La constante de temps étant grande le condensateur n'a pas le temps de se décharger qu'une seconde variation a lieu. Le courant d'anode reste donc pratiquement inchangé. Les constantes de temps utilisées sont de l'ordre de  $2,5 \cdot 10^{-2}$  seconde. Elles sont faibles par rapport à la durée de passage dans l'anneau qui est de 40 secondes.

Le courant d'anode étant proportionnel au flux lumineux le millivoltmètre enregistreur permet d'étudier l'intensité dans les anneaux en fonction de la distance des lames.

### 3 - SYSTEME DE BALAYAGE. -

Un système mécanique nous permet de faire varier d'une façon continue la distance des lames de l'interféromètre pour de très faibles amplitudes de déplacement de la lame mobile au maximum  $2/100$  mm. D'une façon générale nous faisons défiler 10 à 15 anneaux ce qui correspond pour la raie verte du cadmium à un déplacement

$$\Delta e = 15 \times \frac{\lambda}{2} = 3,8 \mu$$

Nous remarquons que le déplacement des lames est inférieur à l'erreur faite sur la mesure de l'épaisseur.

La disposition du système ne nous permet ce déplacement continu que pour des distances des lames variant de millimètre en millimètre.

Ce dispositif mécanique (figure 5) comprend essentiellement un levier constitué par une barre double U en duralumin. L'axe d'appui est un couteau reposant dans une fente tracée suivant un diamètre de la face supérieure d'un cylindre de métal. Ce couteau est situé à environ aux 9/10 de l'extrémité A du levier.

La force motrice qui s'exerce en A est fournie par un moteur synchrone entraînant un fil d'acier attaché en A par l'intermédiaire d'une poulie qui fait un tour en 2 heures.

La force résultante qui s'exerce en B est utilisée en partie pour soulever la manivelle solidaire du tambour de la vis micrométrique ce qui provoque le déplacement du chariot portant la lame mobile. Le levier est équilibré par un contrepoids placé en B.

Pour la stabilité du système deux autres poids  $P_1$  et  $P_2$  situés de part et d'autre du couteau abaissent le centre de gravité .

Enfin le tambour de la vis porte un fil et un contrepoids qui appuie fortement la manivelle M sur le levier.

Le dispositif de balayage tend à rapprocher les lames, la lame mobile est également sollicitée par un contrepoids qui tend à l'écartier de la lame fixe.

Divers enregistrements nous ont donné les résultats suivants :

Numéro des anneaux	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11
Distances en millimètres	18,5	18,25	17,75	18	17,75	18	18,5	18,5	18,5	
lues sur l'enregistrement.	19	18,5	18,5	20	19,5	19,5	19,5	19,5	21	21
	18,5	18,5	19	19	19	19,5	19	19	19	19,5

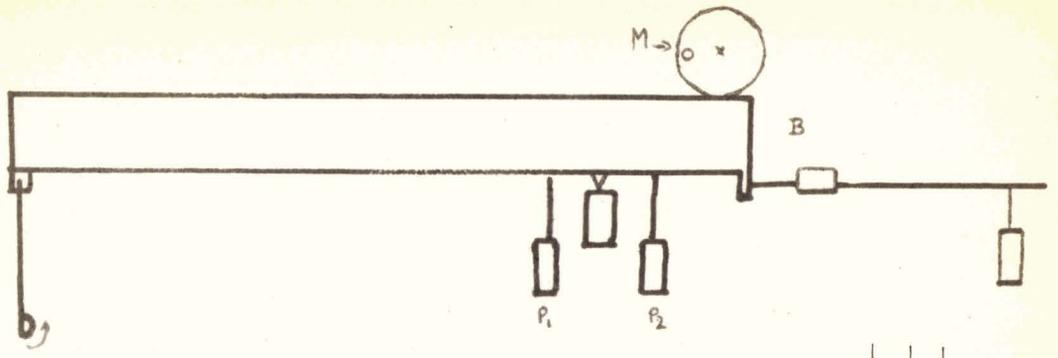


fig 5

double  $\pi$

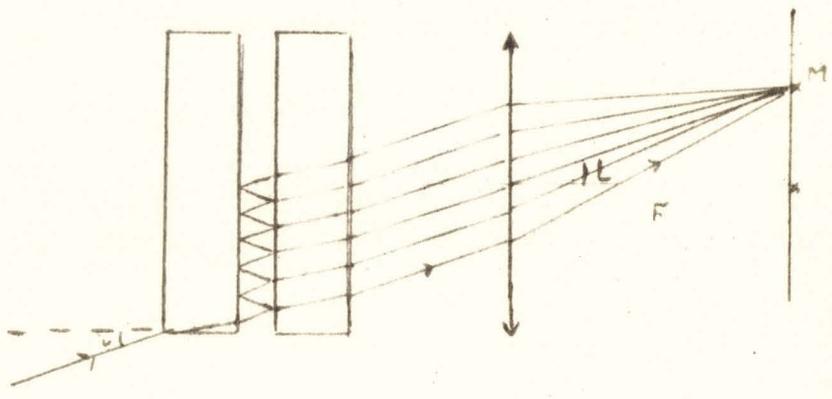


fig 6

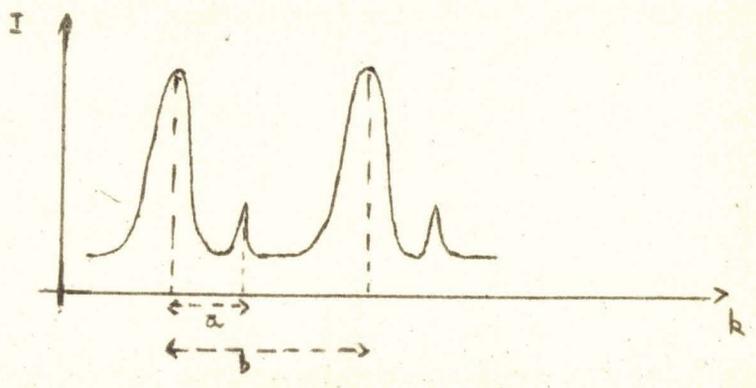


fig 7

Enregistrements	1	2	3
Distances moyennes	18,2	19,6	19
Ecart maximum	0,45	1,4	0,5
Précision	24/1000	7/100	26/1000

La mesure de la distance des anneaux se fait avec une erreur maximum de 0,5 mm. Prenons comme distance moyenne des anneaux 19 mm.

La précision sur la mesure est :

$$\frac{0,5}{19} = \frac{26}{1000}$$

Cette précision est du même ordre que celle calculée pour les enregistrements 1 et 3. Nous admettons donc une précision de 2,5 % sur l'équidistance dans ce mode de balayage. Des mesures ultérieures pourront seules nous permettre de vérifier si les écarts sont dûs au défaut de la vis, aux frottements résiduels ou aux variations accidentelles de la température que nous n'avons pas contrôlées dans ces premiers essais.

Nous remarquons d'ailleurs qu'une variation de la distance  $b$  de deux anneaux consécutifs provoque une variation de même sens de la distance  $a$  du satellite au maximum de l'anneau auquel il appartient de sorte que le rapport  $\frac{a}{b}$  reste pratiquement inchangé et que les résultats ne sont pas modifiés.

Les erreurs introduites dans les résultats seront dûes principalement aux mesures de la distance des anneaux et de leurs satellites et non au système de balayage.

II - ETUDE DE LA STRUCTURE HYPERFINE D'UNE RAIE A PARTIR DES ANNEAUX A L'INFINI

DONNES PAR INTERFEROMETRE DE PEROT ET FABRY

-----

1 - INTERFEROMETRE DE PEROT ET FABRY -

Nous ne rappellerons que les résultats.

Nous avons vu précédemment que l'interféromètre de Pérot et Fabry est éclairé en lumière convergente le rayon moyen étant normal aux lames. Nous observons les anneaux dans le plan focal d'un objectif placé à la suite des lames.

Pour un faisceau incident de rayons parallèles inclinés d'un angle  $i$  sur la normale aux lames, en un point M du plan focal convergent un faisceau de rayons parallèles transmis directement par les lames ainsi qu'une infinité de faisceaux réfléchis sur la lame (figure 6).

Chaque réflexion introduit une différence de marche  $d = 2e \cos i$  si  $e$  est l'épaisseur de la lame d'air, soit un déphasage  $\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda}$ . Le rapport des intensités de 2 faisceaux consécutifs est  $f^2$  si  $f$  est le pouvoir réflecteur moyen des lames.

L'intensité en M est de la forme

$$I = \frac{1}{\left(1 + \frac{4f}{(1-f)^2}\right)^2 \sin^2 \varphi / 2}$$

Nous en tirons

$$I_M = \frac{1}{(1-f)^2} \quad \text{et} \quad I_m = \frac{1}{(1+f)^2}$$

La quantité  $a = \frac{4f}{(1-f)^2}$  est le coefficient de finesse et varie dans le même sens que  $f$ .

La largeur d'un anneau dans l'échelle des phases est donnée en radians par la formule

$$= \frac{2(1-f)}{\sqrt{f}} = \frac{4}{\sqrt{a}}$$

La largeur en interfranges est  $\frac{1 - f}{\pi \sqrt{f}}$

Nous constatons que les anneaux obtenus seront d'autant plus fins que le pouvoir réflecteur moyen sera plus grand.

## 2 - ETUDE DES ANNEAUX -

Au cours du déplacement des lames, nous enregistrons, pour une radiation déterminée, l'intensité des anneaux en fonction de la distance des lames ou encore puisqu'au centre  $d = 2e = k \lambda$ , l'intensité des anneaux en fonction de l'ordre d'interférence au centre.

Si la radiation étudiée possède un satellite nous enregistrons 2 systèmes d'anneaux qui apparaîtront plus ou moins distincts selon l'épaisseur des lames, leur pouvoir réflecteur et la largeur des raies.

L'allure des courbes est donnée figure 7.

Au centre  $d = 2e = k \lambda = \frac{k}{\nu}$

$$\Delta k = 2e \Delta \nu$$

Entre deux anneaux consécutifs la variation de l'ordre d'interférence est égale à 1. Sur les enregistrements cette variation est représentée par l'écart  $b$  entre 2 anneaux consécutifs.

$$\Delta k = 1 = 2e \Delta \nu$$

$$\Delta \nu = \frac{1}{2e} \text{ est le domaine spectral.}$$

$$\nu = \frac{1}{\lambda} \quad \Delta \nu = -\frac{\Delta \lambda}{\lambda^2}$$

$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{2e}$  est le domaine de dispersion. C'est la variation de  $\lambda$  qui à ordre d'interférence égal décale les anneaux d'une frange.

La distance  $a$  entre le maximum de la raie principale et le maximum du satellite correspond à une variation de l'ordre d'interférence

$$0 < h < 1 \quad h = \frac{a}{b}$$

si  $d\nu$  est l'écart en nombre d'onde entre la composante principale et

le satellite on a  $+ d\nu = + \frac{a}{b} \times \frac{1}{2e}$

Le système de balayage nous permet de faire varier l'épaisseur des lames en les rapprochant. Dans ce cas les anneaux successifs viennent disparaître au centre de la figure d'interférences; nous voyons d'abord les satellites rouges, puis la composante principale et enfin les satellites violets; nous pouvons ainsi connaître la position des satellites par rapport à la raie principale à moins qu'il n'y ait chevauchement des ordres d'interférences, c'est pourquoi nous tracerons des graphiques qui nous permettront de déterminer. (graphique 1).

- 1) la position en nombres d'ondes du satellite par rapport à la raie principale.
- 2) s'il y a chevauchement des ordres d'interférences.
- 3) la distance idéale des lames pour que les satellites et la raie principale apparaissent nettement séparés.

Explication du graphique -

Nous traçons un graphique théorique .

Ce graphique représente en ordonnées les distances  $d\sqrt{\phantom{x}}$  en nombre d'onde des satellites à la raie principale et en abscisses les domaines spectraux

Soit 0 la raie principale.

Pour différents domaines spectraux l'anneau zéro se trouve sur l'axe des abscisses, les 2 anneaux consécutifs  $O'$  et  $O''$  sur les bissectrices  $O O'_1$  et  $O O''_1$  des axes de coordonnées.

Pour chaque domaine spectral, nous enregistrons une dizaine d'anneaux pour chacun d'eux nous calculons les positions des satellites en nombre d'onde et nous portons sur le graphique, en ordonnée les valeurs moyennes obtenues.

Prenons le cas de 3 satellites A,B,C; A et C violets, B rouge.

Un premier enregistrement nous donne pour l'anneau zéro les écarts  $O_1 A_1$ ,  $O_1 B_1$ , et  $O_1 C_1$  des satellites à la raie principale, pour les anneaux consécutifs  $O''_1 A''_1$ ,  $O'_1 B'_1$  et  $O'_1 C'_1$  .

Un second enregistrement fournit les points  $A_2, B_2, C_2$ ,  $A''_2, B'_2, C'_2$  .

- 1) s'il n'y a pas chevauchement, c'est le cas des satellites A et B les points  $A_1$  et  $A_2$ ,  $B_1$  et  $B_2$  sont alignés sur des droites d'ordonnée.

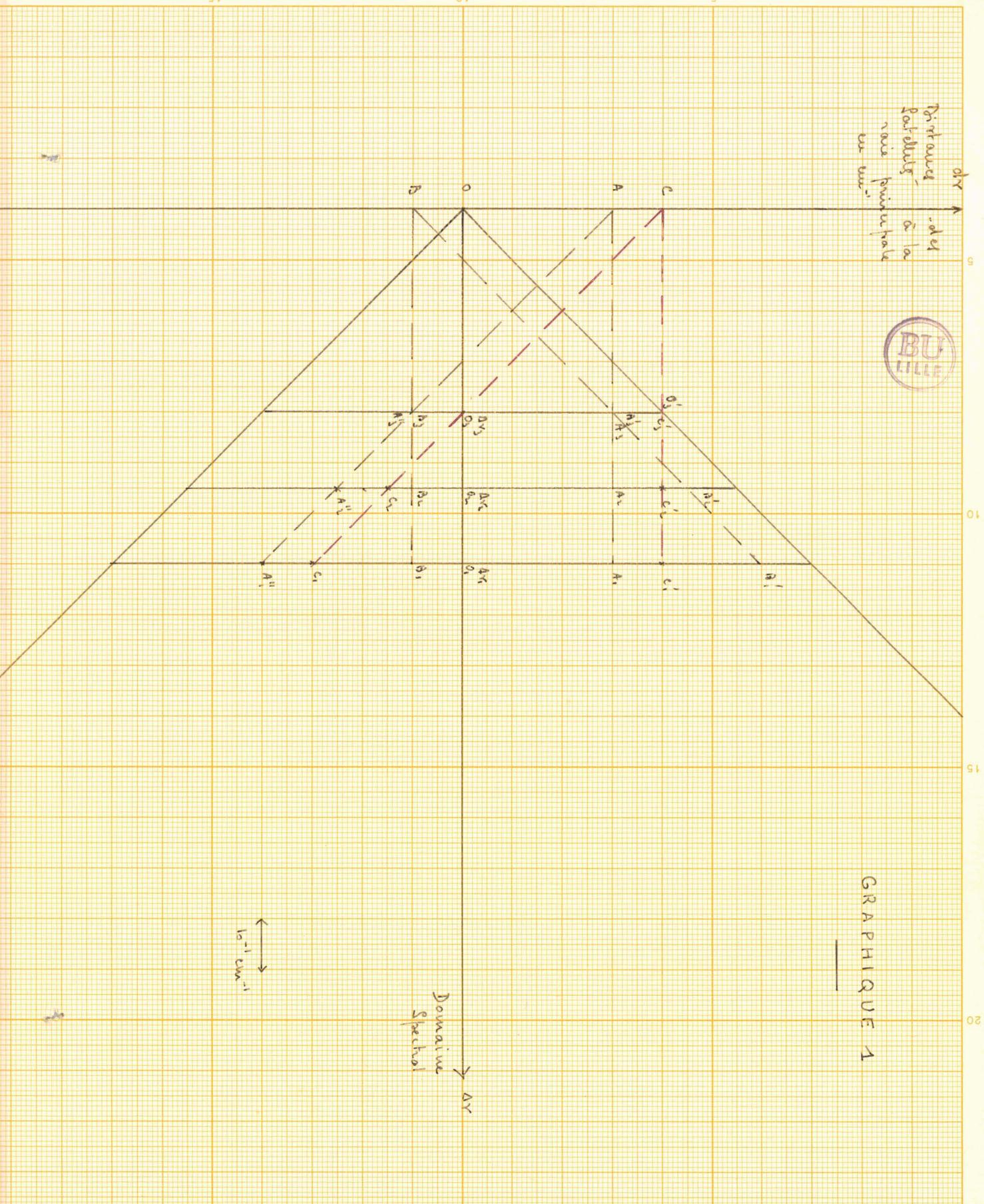
Distances  
partidules  
sur une  
à la  
pointe



GRAPHIQUE 1

10<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>

Domaine  
Spectral  
AR



$$d\sqrt{A} = O A$$

$$d\sqrt{B} = O B$$

s'il y a chevauchement, c'est le cas du satellite C,  $C_1$  appartient à l'anneau  $O'_1$  et non à l'anneau  $O_1$  de même  $C_2$  appartient à l'anneau  $O''_2$  et non à l'anneau  $O_2$ , les distances  $O''_1 C_1$  et  $O''_2 C_2$  sont égales et les points  $C_1$  et  $C_2$  seront alignés sur une droite parallèle à  $O O''_1$  d'ordonnées à l'origine.

$$d\sqrt{C} = O C = O''_1 C_1 = O''_2 C_2$$

De même  $C'_1$  et  $C'_2$  appartiennent en fait aux anneaux  $O_1$  et  $O_2$  et non aux anneaux  $O'_1$  et  $O'_2$ , les points  $C'_1$  et  $C'_2$  seront alignés sur une droite d'ordonnée  $d\sqrt{C} = O C = O_1 C'_1 = O_2 C'_2$ .

2) on constate que pour un domaine spectral  $\Delta\sqrt{3}$  le satellite C ne sera pas visible étant confondu avec la raie principale. Le satellite A sera alors confondu avec le satellite B de l'anneau suivant et l'enregistrement correspondant ne montrera qu'un seul satellite.

Le graphique fournira les valeurs  $e$  des distances des lames qui feront apparaître distinctement les satellites.

Nous déterminerons graphiquement une valeur moyenne  $d\sqrt{}$  des distances des satellites à la raie principale.

- ETUDE DE LA STRUCTURE HYPERFINE -  
 - DES RAIES 5086 Å ET 4800 Å DU CADMIUM -

-----

Le spectre d'émission du cadmium montre un triplet dans le bleu dû aux transitions  $5 \text{ } ^3\text{P}_{2,1,0} - 6 \text{ } ^3\text{S}_1$ , dont les longueurs d'onde sont respectivement 5086 Å, 4800 Å, 4678 Å.

Le cadmium comprend les isotopes 106, 108, 110, 112, 114, 116 dont le spin est nul et les isotopes impairs 111 et 113 dont le spin nucléaire est 1/2. Le pourcentage de ces isotopes impairs est 25 %.

Notre étude portera uniquement sur la détermination des longueurs d'onde des satellites des raies 4800 et 5086 Å du cadmium.

1 - ETUDE DE LA RAIE 4800 Å -

C'est la composante centrale du triplet. Le schéma des niveaux est donné figure 8.(1)

La raie principale est due aux isotopes pairs, les satellites au spin nucléaire égal à 1/2 des isotopes impairs. Les niveaux d'arrivée et de départ se trouvent donc dédoublés.

Cette raie possède 4 satellites a, b, c, d, nous en avons trouvé 2 soient les satellites a et d, c'est à dire les plus écartés de la raie principale.

Les intensités théoriques sont en valeur relative a = 2, b = 10, c = 4, d = 2.

Satellite a -

Des enregistrements ont été faits pour différentes distances des lames de l'interféromètre. Les mesures ont été faites sur les enregistrements correspondant à des distances telles que les satellites apparaissent dans le pied des anneaux.

- Enregistrement n°1 -

$e_1 = 0,82 \text{ mm.}$

domaine spectral  $\Delta \lambda_1 = \frac{1}{2e} = 0,61 \text{ cm}^{-1}$

(1) Schüller et Keyston Zeitschrift für Physik 67 1931 p.433.

Fig 8

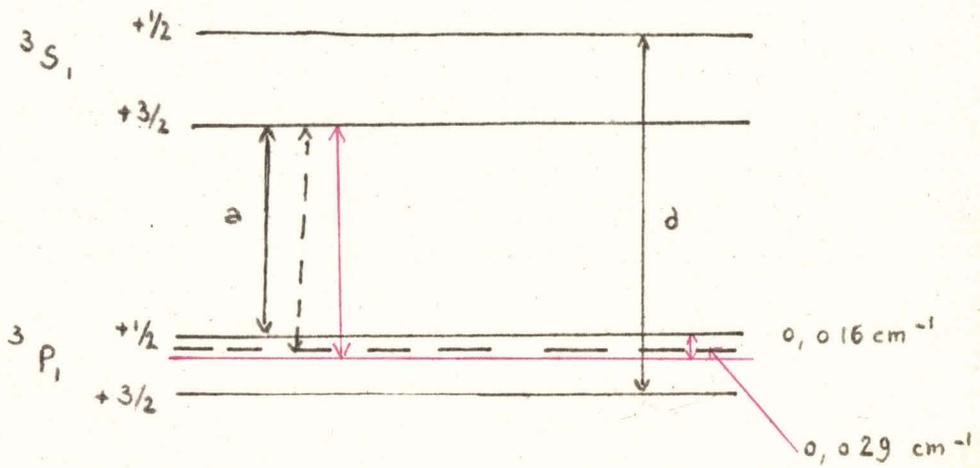
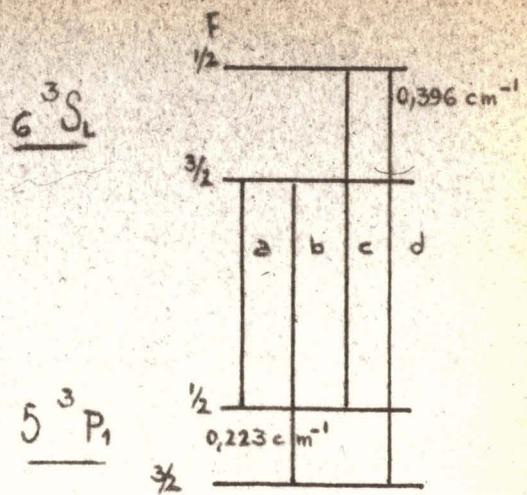
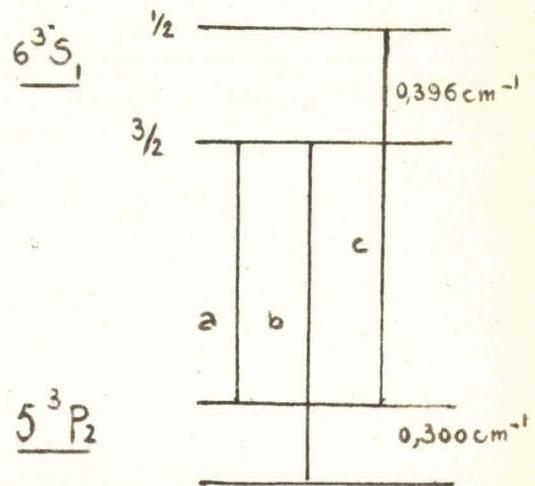


Fig 9

Fig 10



L'écart en nombre d'onde de la raie principale au satellite a comme valeur moyenne

$$d\nu_1 \text{ moyen} = - 0,227 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrement n°2 -

$$e_2 = 0,714 \text{ cm.}$$

$$\Delta\nu_2 = 0,70 \text{ cm}^{-1}.$$

$$d\nu_2 \text{ moyen} = - 0,250 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrement n°3 -

$$e_3 = 0,818 \text{ cm.}$$

$$\Delta\nu_3 = 0,61 \text{ cm}^{-1}.$$

$$d\nu_3 \text{ moyen} = - 0,270 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrement n°4 -

$$e_4 = 0,617 \text{ cm.}$$

$$\Delta\nu_4 = 0,81 \text{ cm}^{-1}.$$

Le satellite n'apparaît que par une déformation d'une des ailes de l'anneau. Une seule mesure a été faite moins précise que les précédentes qui a donné comme résultat

$$d\nu_4 \text{ moyen} = - 0,258 \text{ cm}^{-1}$$

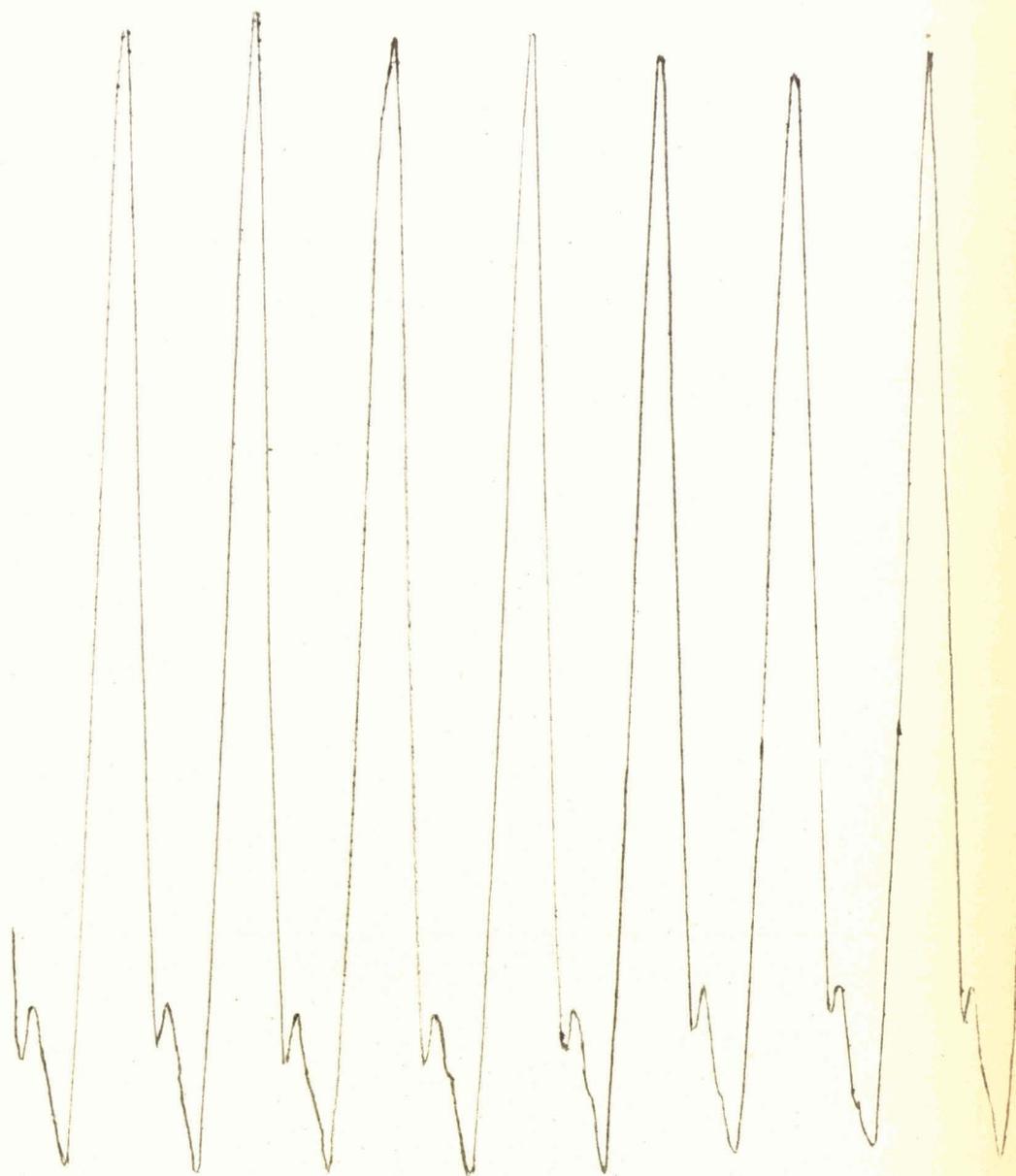
Ces différentes valeurs de l'écart en  $\text{cm}^{-1}$  du satellite a à la raie principale ont été portées sur le graphique 2.

La valeur moyenne obtenue est :

$$\underline{d\nu = - 0,250 \text{ cm}^{-1}}$$

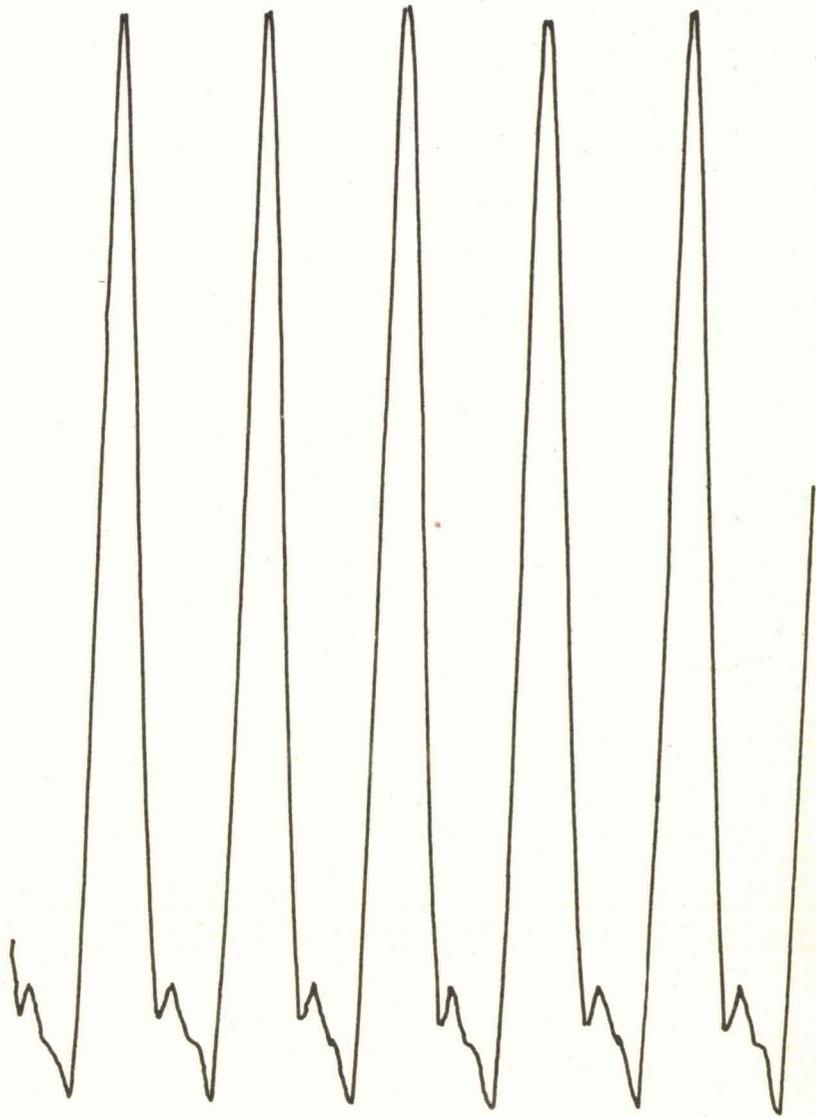
La précision des pointés est de  $10 \text{ à } 20 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$  selon la position des satellites.

Nous remarquons que pour une même excitation de la lampe spectrale et pour des distances voisines 0,820 et 0,818 mm. des lames de l'interféromètre nous obtenons des valeurs  $d\nu_1 = -0,227 \text{ cm}^{-1}$  et  $d\nu_3 = -0,270 \text{ cm}^{-1}$  très différentes.



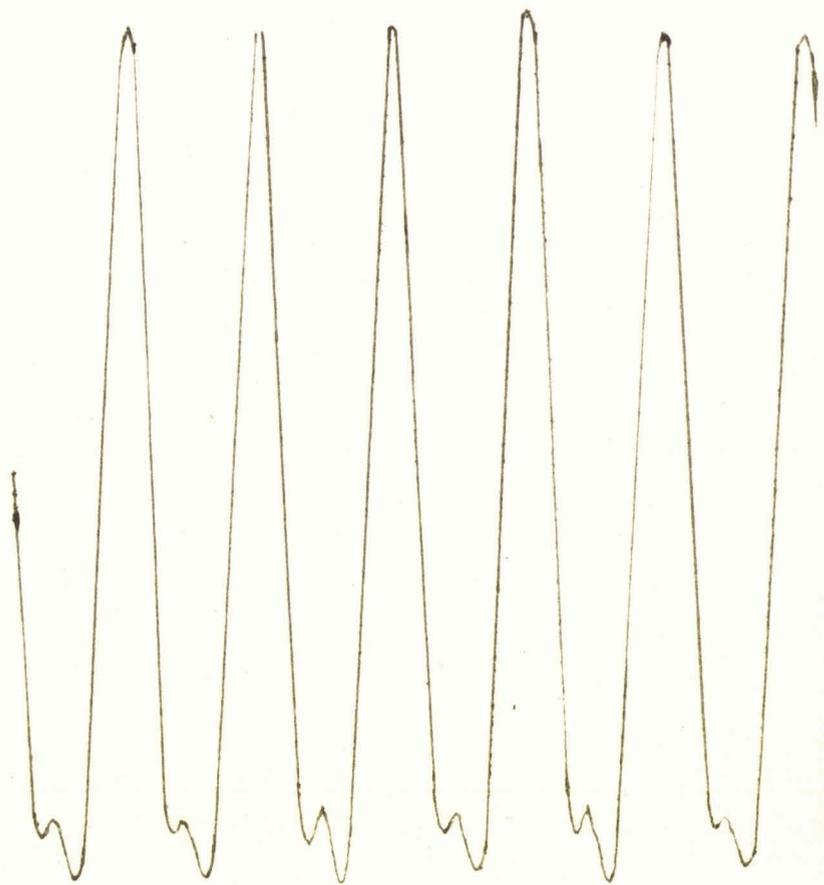
Raie bleue 4800 Å

1<sup>er</sup> Enregistrement



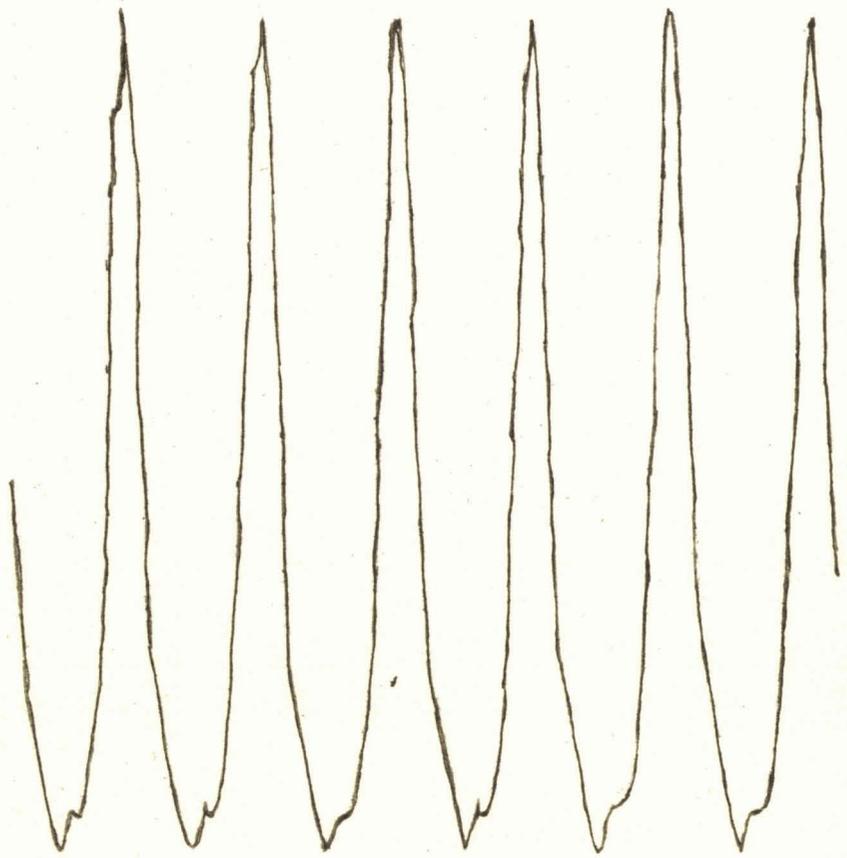
Raie bleue 4800 Å

2<sup>e</sup> Enregistrement



Raie bleue 4800 Å

3<sup>e</sup> Enregistrement



Raie bleue  $4800\text{\AA}$  4<sup>e</sup> Enregistrement

L'enregistrement n°1 montre la présence d'un autre satellite très proche du satellite a. Ce second satellite n'apparaît pas sur l'enregistrement n°3 ce qui semblerait indiquer que les 2 satellites sont alors confondus. Cette hypothèse sera confirmée par les mesures faites pour le satellite 2.

Les positions voisines des 2 satellites peuvent perturber les mesures ce qui expliquerait les valeurs différentes obtenues pour les enregistrements 1 et 3. D'ailleurs pour les mêmes conditions d'excitation la température de la source et par suite la largeur des raies varie avec la durée du fonctionnement.

Le satellite a est déplacé vers le rouge d'une quantité

$$d\lambda = -\lambda^2 d\nu$$

$$\underline{d\lambda = 0,058 \text{ \AA}}$$

Satellite d -

- Enregistrement n°2 -

$$e_2 = 0,714 \text{ cm} \quad \Delta\nu_2 = 0,7 \text{ cm}^{-1}$$

$$d\nu_2 \text{ moyen} = - 0,350 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrement N°4 -

$$e_4 = 0,617 \text{ cm} \quad \Delta\nu_4 = 0,81 \text{ cm}^{-1}$$

$$d\nu_4 \text{ moyen} = + 0,335 \text{ cm}^{-1}$$

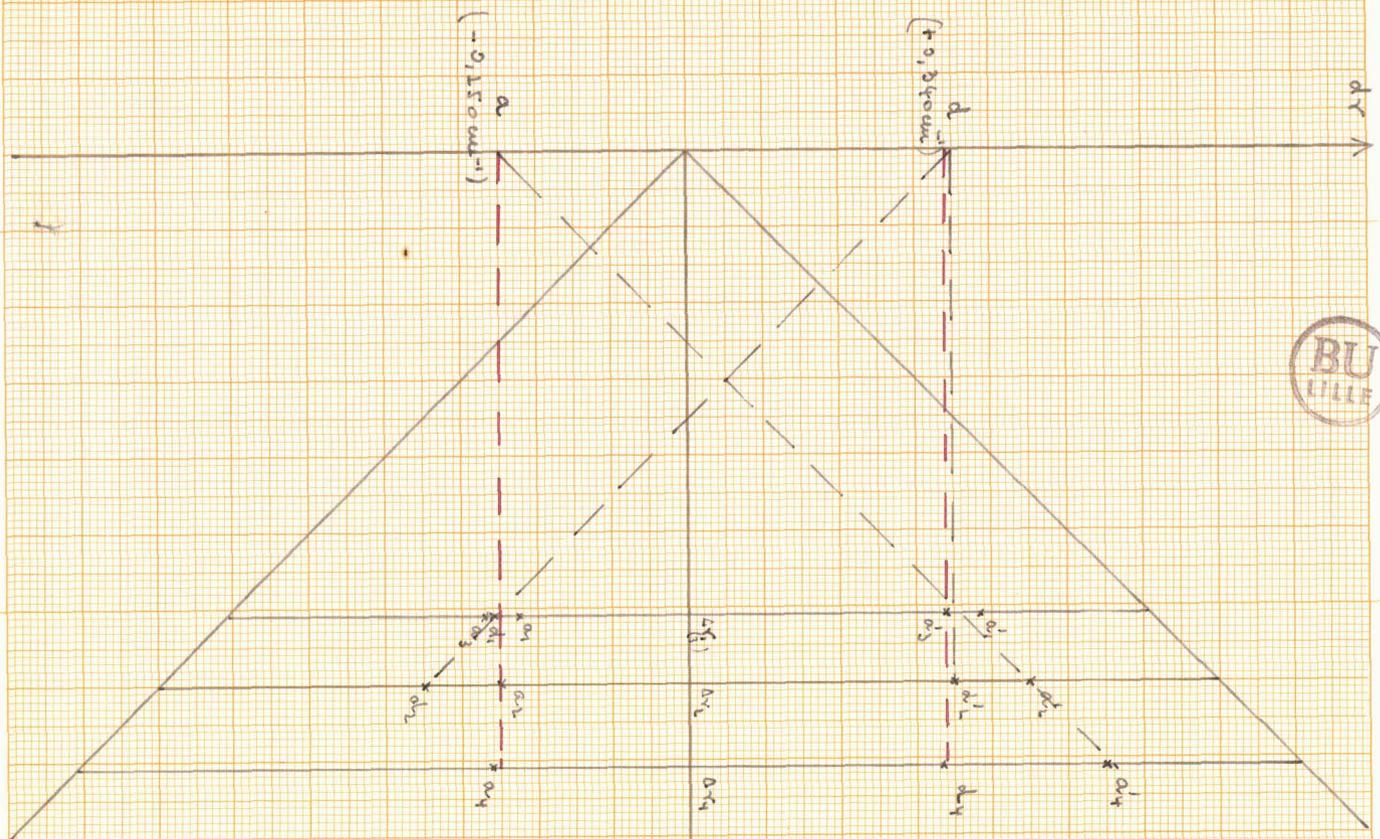
Ces 2 valeurs ont été portées sur le graphique n°3. 2  
Nous constatons que pour l'enregistrement n°2 il y a chevauchement des ordres d'interférences. Une construction graphique nous permet de déterminer la position  $d'_2$  du satellite d pour la valeur  $\Delta\nu_2$  du domaine spectral. Le graphique montre que pour une distance  $e = 0,818 \text{ cm}$  des lames il y a chevauchement des ordres d'interférences pour le satellite d qui se trouvent alors en  $d_1$  pratiquement confondu avec le satellite a. Le graphique donne comme valeur moyenne de l'écart en  $\text{cm}^{-1}$  de la raie principale au satellite d

$$\underline{d\nu = + 0,340 \text{ cm}^{-1}}$$



RAIE BLEUE 4800 Å

GRAPHIQUE 2



Domaine Spectral  $\Delta Y$

$10^{-1} \text{ cm}^{-1}$

Le satellite d est déplacé vers le violet d'une quantité

$$d\lambda = -0,078 \text{ \AA}$$

-----

Nous comparerons nos résultats à ceux de Schrammen et à ceux de Schüler et Keyston. (1)

	a	d	d - a
Schrammen	- 0,266 cm <sup>-1</sup>	+ 0,337 cm <sup>-1</sup>	0,603 cm <sup>-1</sup>
Schüler Keyston	- 0,283 cm <sup>-1</sup>	+ 0,336 cm <sup>-1</sup>	0,619 cm <sup>-1</sup>
Auteur	- 0,250 cm <sup>-1</sup>	+ 0,340 cm <sup>-1</sup>	0,590 cm <sup>-1</sup>

Le schéma des niveaux énergétiques est donné (figure 9)

( traits pleins            résultats de Schüler et Keyston  
 (    "    pointillés        "            Schrammen  
 (    "    rouge             "            auteur

Les travaux de Schüler et Keyston et de Schrammen ont montré que selon le régime de la source employée (cathode creuse) le niveau perturbé était le niveau  $^3P_1$   $F = 1/2$  ce qui semble être le cas pour nos mesures puisque les mesures faites pour le satellite d sont en bon accord avec celles de Schüler et Keyston.

Les valeurs d - a calculées donnent le déplacement du niveau  $^3P_1$   $F=1/2$  vis à vis de la position trouvée par Schüler et Keyston.

Sa valeur est de 0,016 cm<sup>-1</sup> d'après les mesures faites par Schrammen de 0,029 cm<sup>-1</sup> d'après nos mesures. Dans les 2 cas le niveau  $^3P_1$   $F=1/2$  se rapproche du niveau  $^3P_1$   $F = 3/2$ .

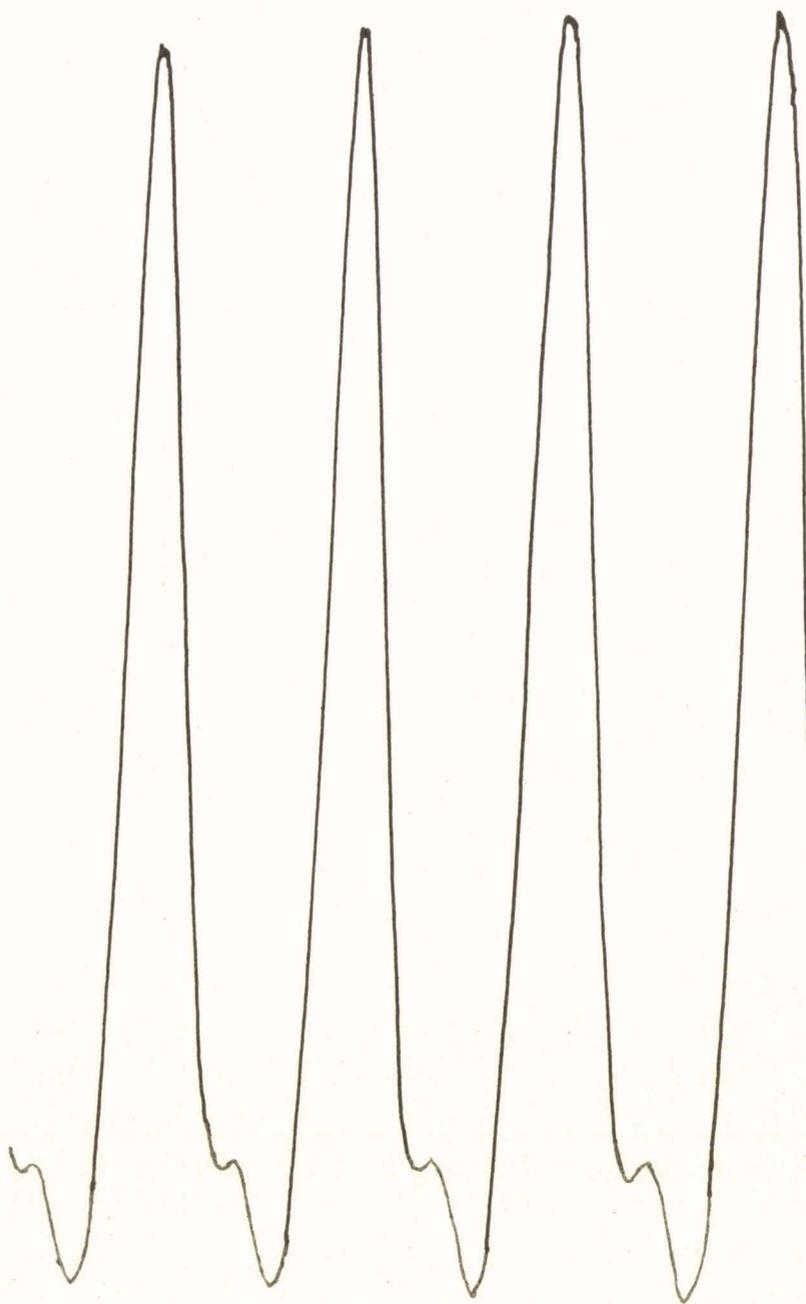
ETUDE DE LA RAIE 5086 Å. (1)

Le schéma des niveaux est donné figure 10. (1)

Elle est due aux transitions  $5 \ ^3P_2 - 6 \ ^3S_1$

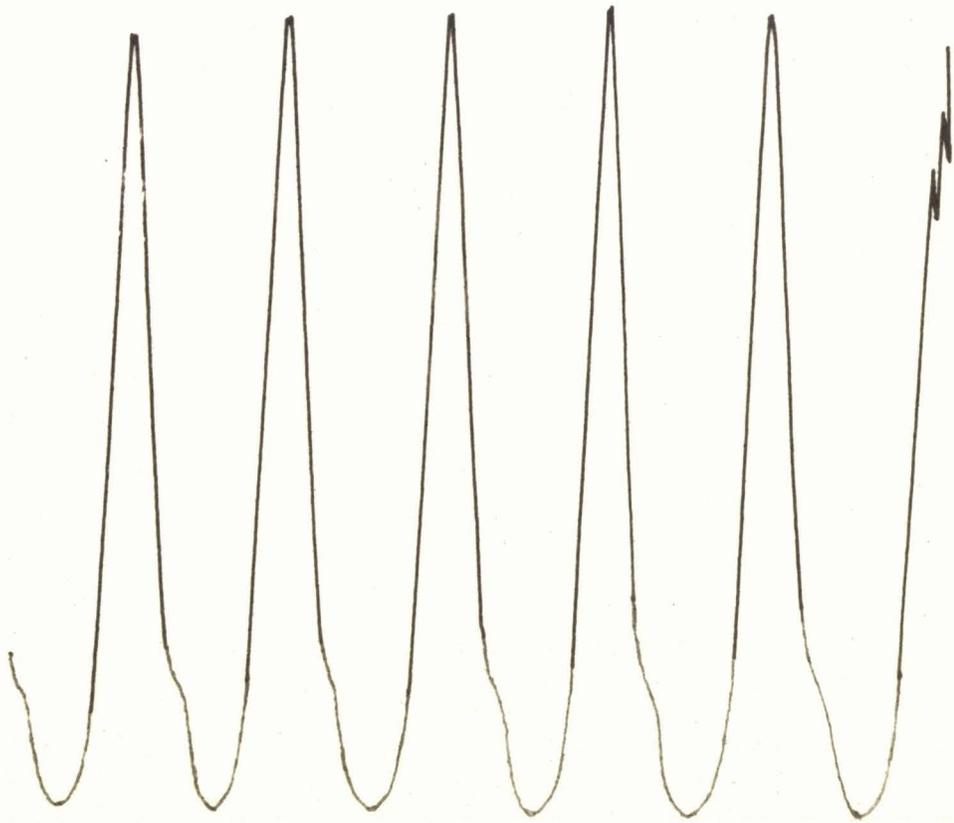
Cette raie possède 3 satellites a, b, c, le satellite b est pratiquement confondu avec la raie principale.

Les intensités théoriques sont en valeur relative a = 1, b = 9, c = 5.



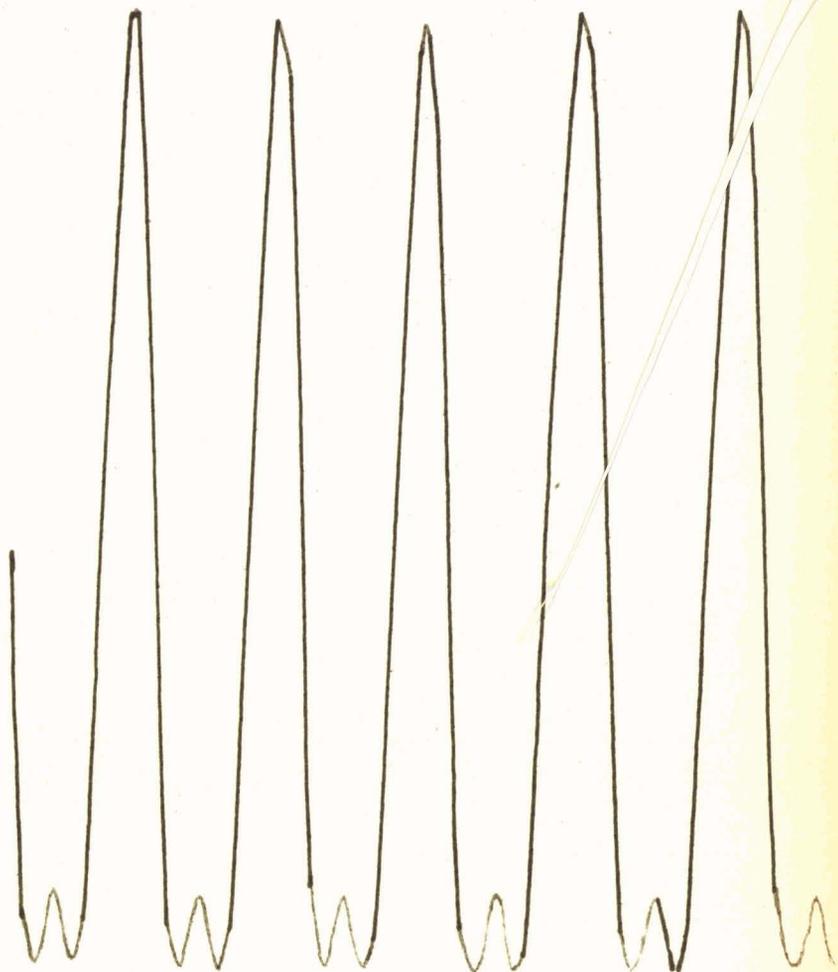
Raie Verte  $5086 \text{ \AA}$

1<sup>er</sup> Enregistrement



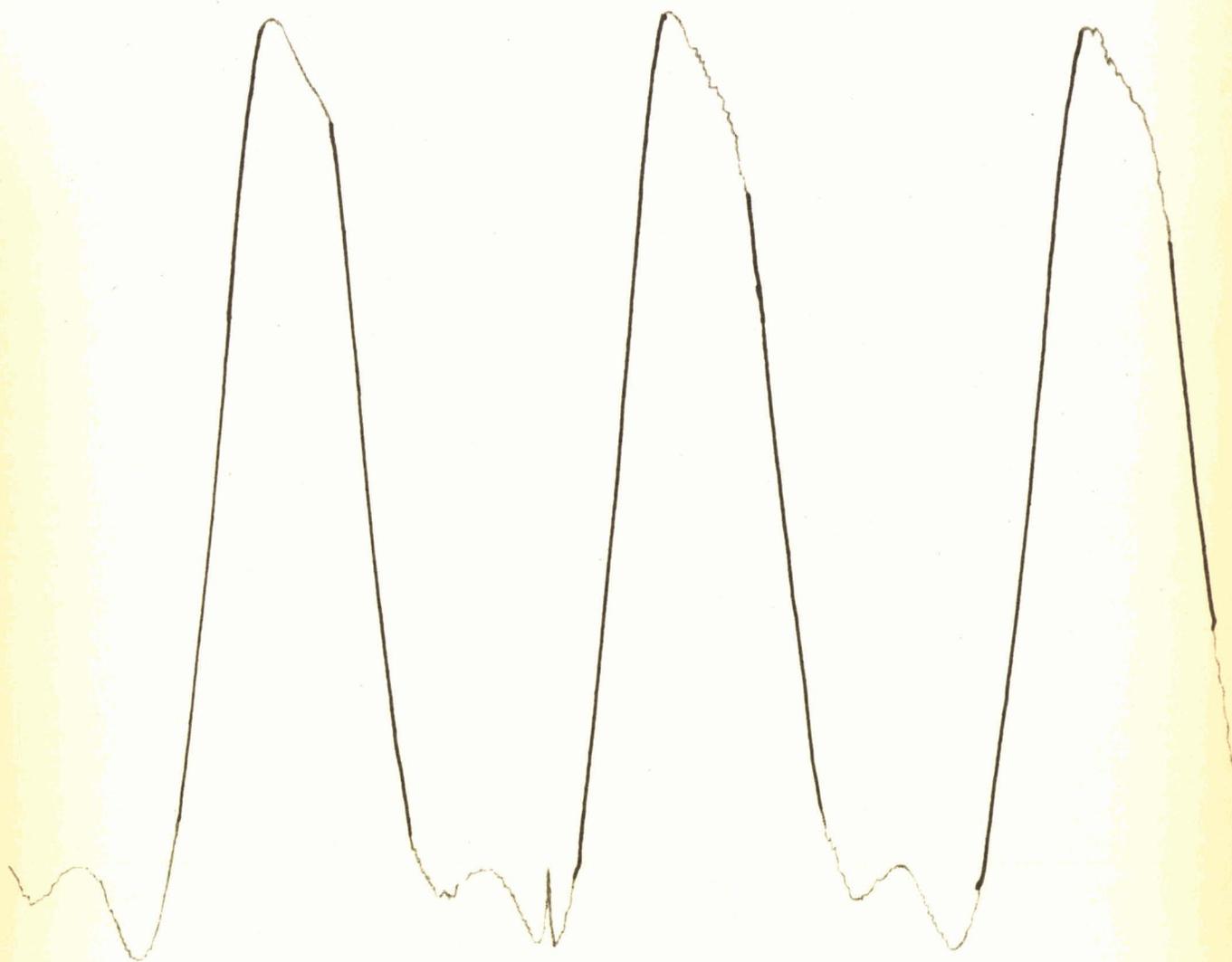
Raie Verte  $5086 \text{ \AA}$

2<sup>e</sup> Enregistrement



Raie Verte  $5086 \text{ \AA}$

3<sup>e</sup> Enregistrement



Raie Verte  $5086\text{\AA}$  4<sup>e</sup> Enregistrement

Satellite a -

- Enregistrement 1 -

$$e_1 = 0,678 \text{ cm.}$$

$$\Delta v_1 = 0,74 \text{ cm}^{-1}$$

$$dv_1 \text{ moyen} = - 0,293 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrement 2 -

$$e_2 = 0,512 \text{ cm.}$$

$$\Delta v_2 = 0,98 \text{ cm}^{-1}$$

$$dv_2 \text{ moyen} = - 0,285 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrement 3 et 4 -

$$e_{3,4} = 0,778 \text{ cm.}$$

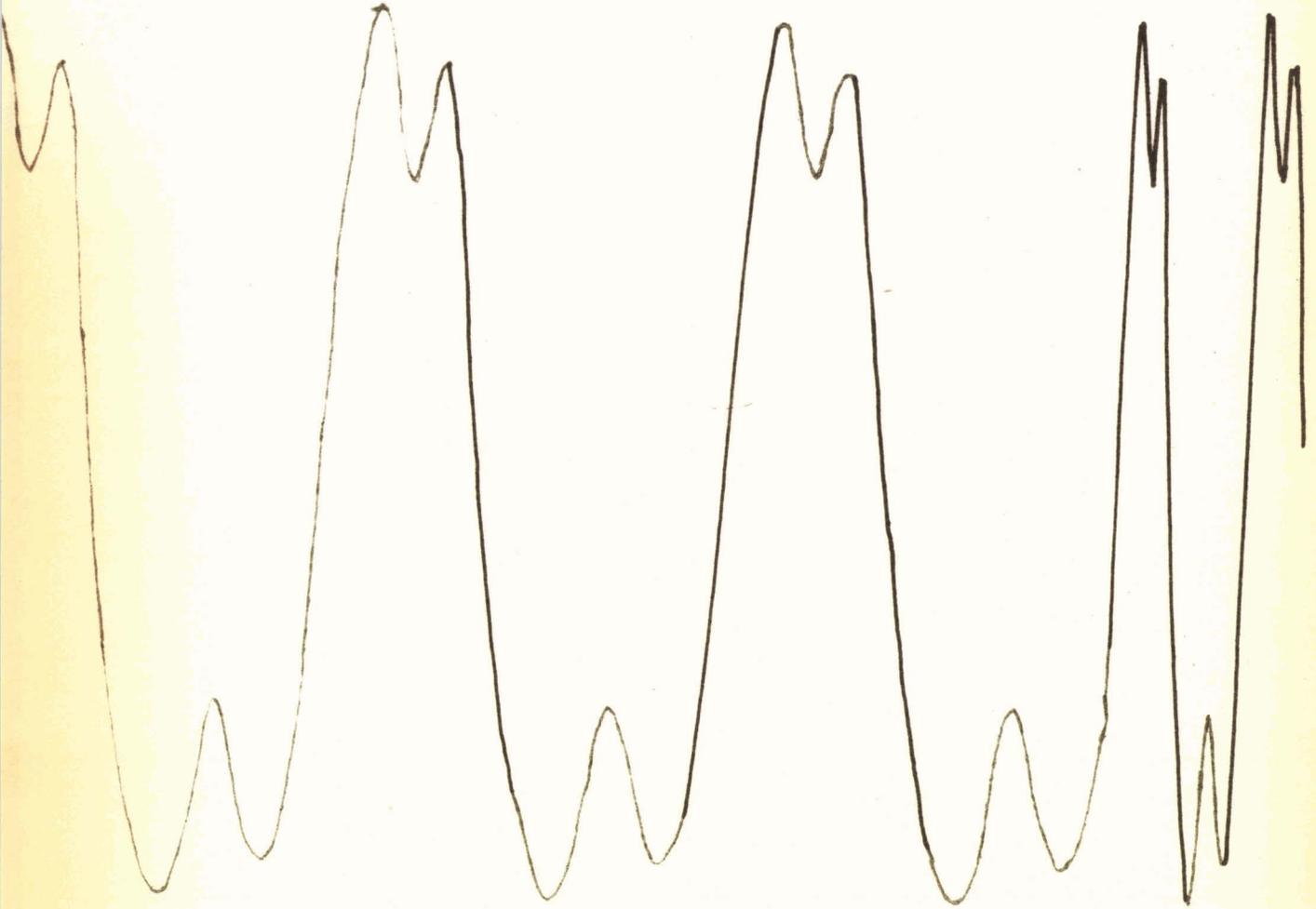
$$\Delta v_{3,4} = 0,64 \text{ cm}^{-1}$$

Ces 2 enregistrements ont été faits pour la même excitation de la source que précédemment. L'enregistrement 4 correspond à une vitesse plus rapide de déroulement de l'enregistreur.

Pour l'enregistrement 3 le satellite a apparaît dans le pied des anneaux qui montrent vers leur maximum d'intensité une légère déformation que l'on retrouve sur l'enregistrement 4 d'une façon plus nette. Cette déformation peut être attribuée soit à la présence d'un second satellite soit à un renversement de la raie principale.

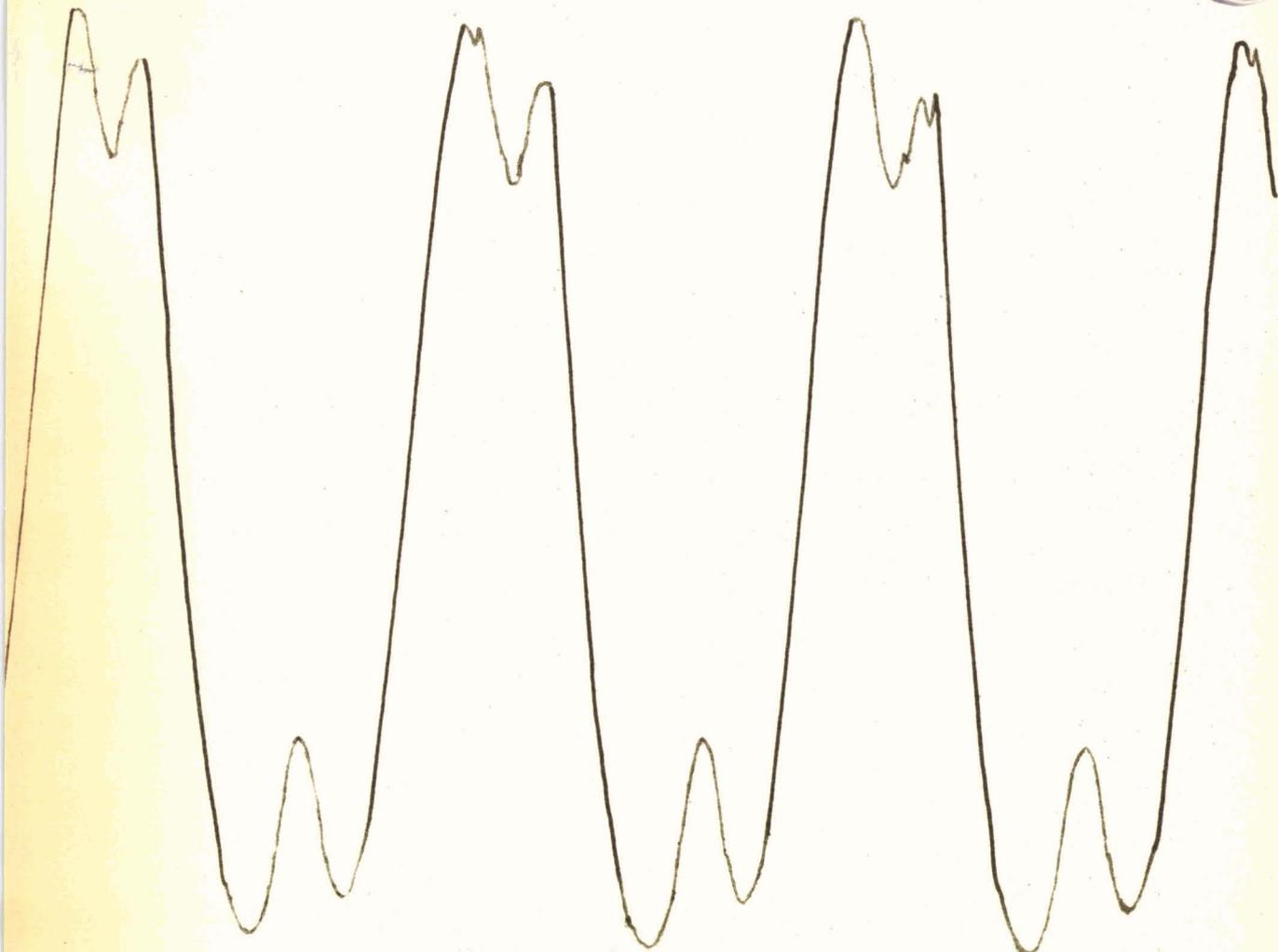
Si cette déformation est due à la présence d'un satellite, elle doit disparaître pour une source plus poussée où les raies seront plus larges, au contraire si elle est due à un renversement de la raie principale elle doit s'accroître.

Nous avons fait une série d'enregistrements pour une distance de lames  $e = 0,848 \text{ cm.}$  pour une source de plus en plus poussée (enregistrements 5,6,7,8) et alimentée pour des intensités allant de 0,78 à 1,05 Ampère, nous constatons que la déformation s'accroît lorsque l'intensité croît. Nous concluons donc à un renversement dissymétrique de la raie principale.



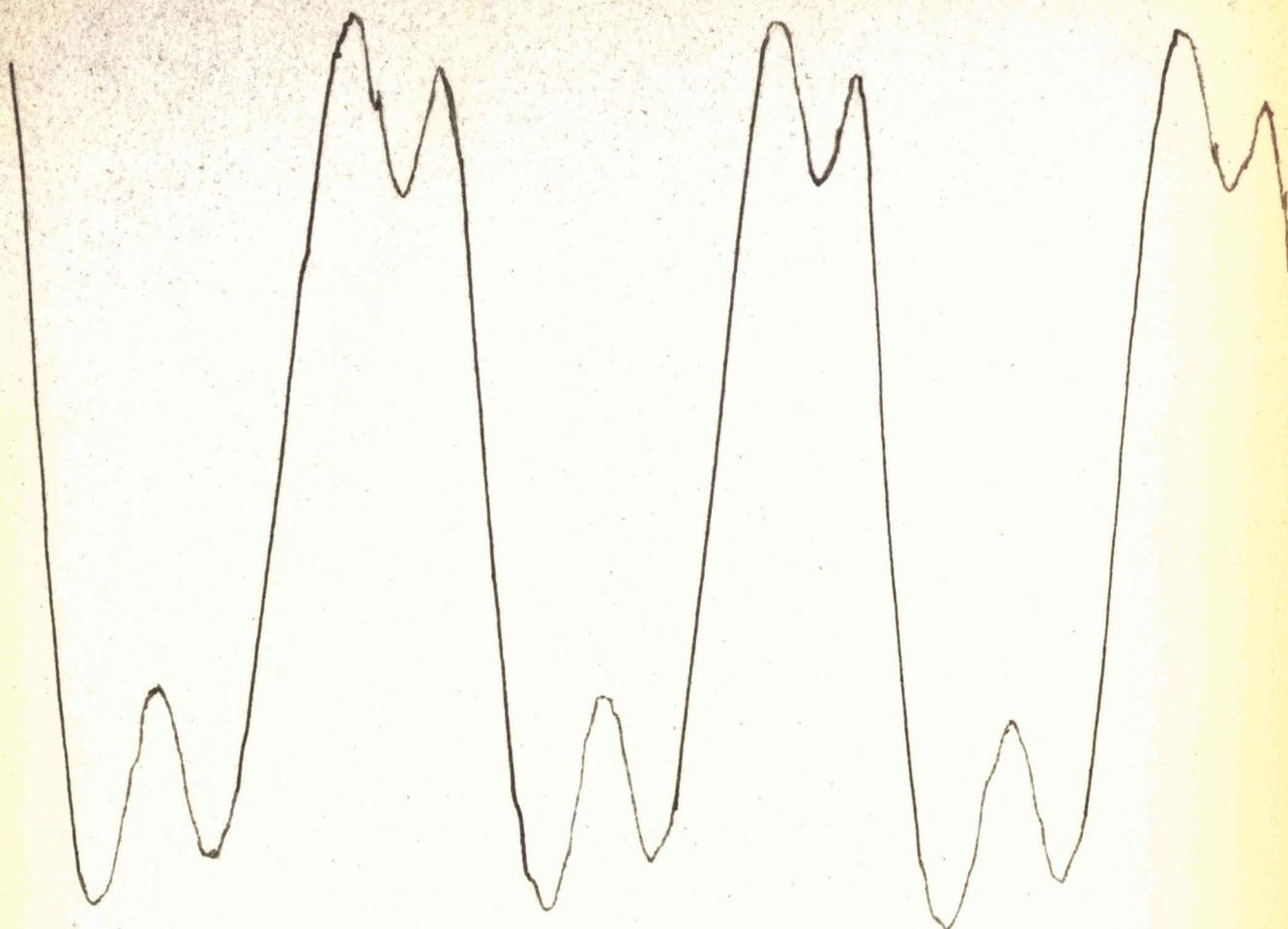
Raie Verte  $5086 \text{ \AA}$

5<sup>e</sup> Enregistrement

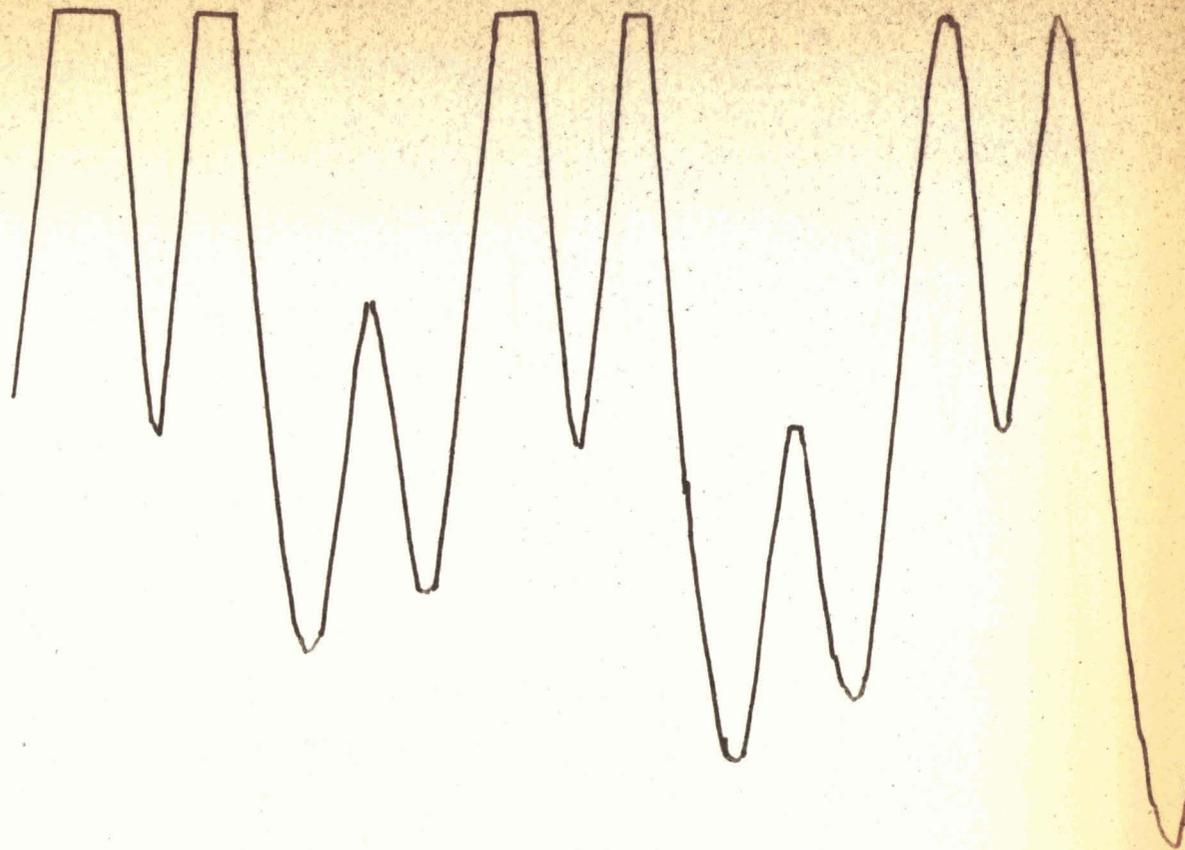


Raie Verte 5086 Å

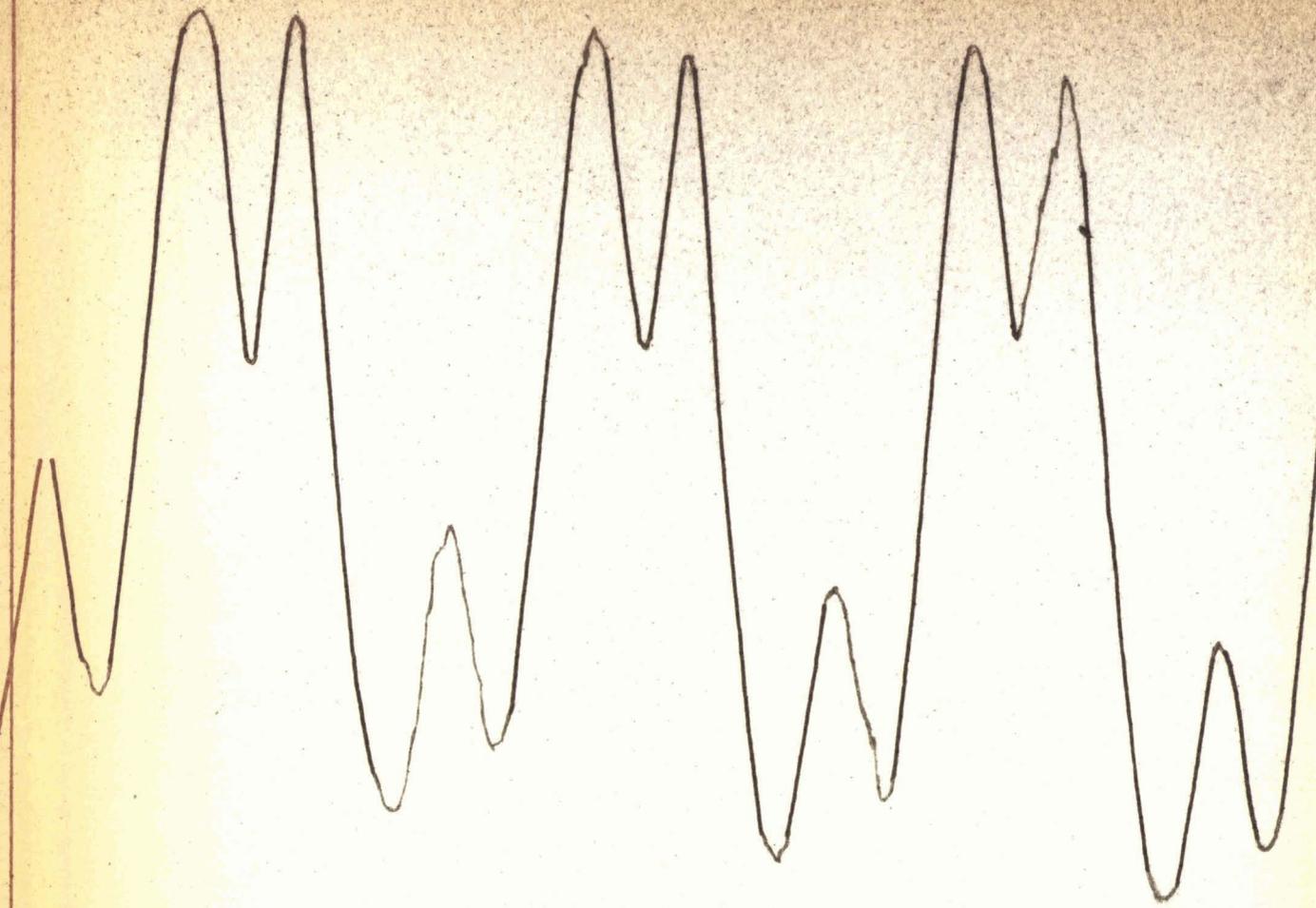
6<sup>e</sup> Enregistrement



Raie Verte  $5086 \text{ \AA}$  7 Enregistrement



Raie Verte 5086 Å



8<sup>e</sup> Enregistrement

Nous ferons une première série de mesures en considérant que le maximum de la raie principale se trouve sur la droite, axe de symétrie de la partie inférieure de la composante principale.

- Enregistrement 3 -

$$+ dV_3 \text{ moyen} = - 0,320 \text{ cm}^{-1}$$

La vitesse de déroulement de l'enregistreur étant faible, les anneaux sont plus resserrés et les mesures moins précises que pour l'enregistrement 4 correspondant à une vitesse d'enregistrement plus grande.

- Enregistrement 4 -

$$+ dV_4 \text{ moyen} = - 0,306 \text{ cm}^{-1}$$

- Enregistrements 5,6,7,8 -

$$e_{5,6,7,8} = 0,848 \text{ cm.}$$

$$\Delta V_{5,6,7,8} = 0,59 \text{ cm}^{-1}$$

- 5° Enregistrement -

Intensité de la source = 0,78 A.

$$dV_5 = - 0,310 \text{ cm}^{-1}.$$

- 6° Enregistrement -

$$I = 0,9 \text{ A}$$

$$dV_6 = - 0,314 \text{ cm}^{-1}$$

- 7° Enregistrement -

$$I = 0,98 \text{ A.}$$

$$dV_7 = - 0,307 \text{ cm}^{-1}$$

Pour ces 3 enregistrements la valeur moyenne est  $dV = - 0,310 \text{ cm}^{-1}$

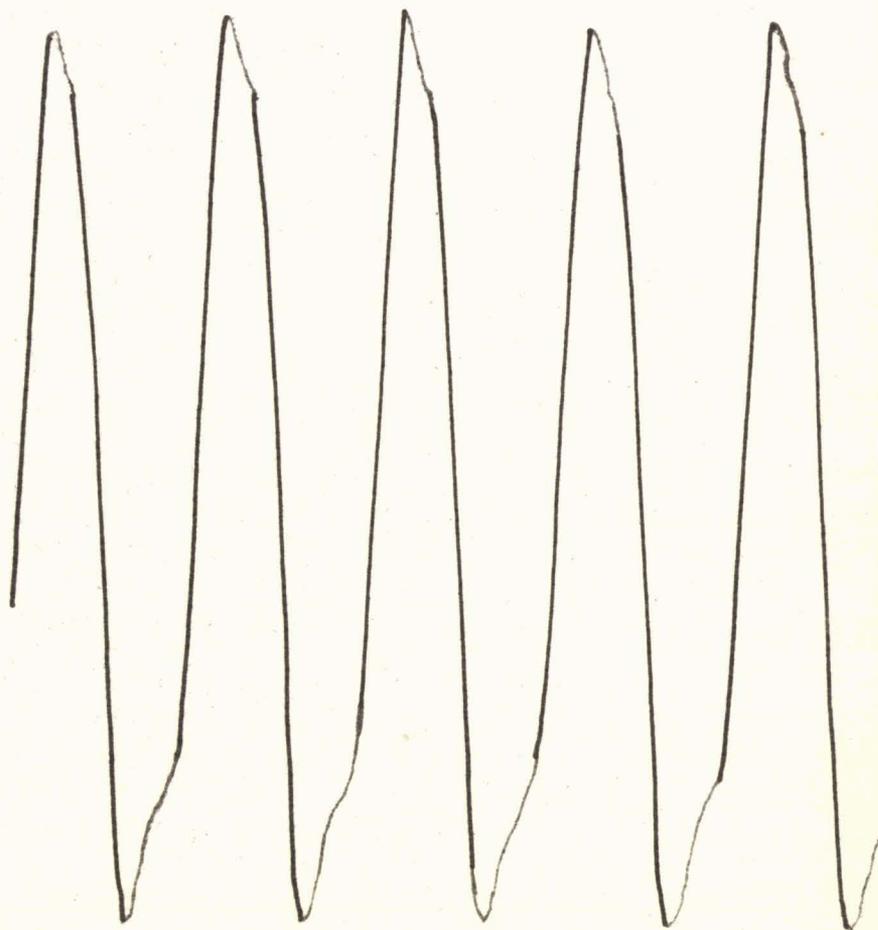
La source n'étant pas stable pour des intensités inférieures à 0,78 A

Il ne nous a pas été possible d'obtenir des enregistrements ne présentant pas de renversement.

- Enregistrement 9 -

$$e_{\phi} = 0,978 \text{ cm.}$$

$$\Delta V_{\phi} = 0,511 \text{ cm}^{-1}.$$



Raie Verte  $5086 \text{ \AA}$  9<sup>e</sup> Enregistrement

$$+ d\nu_9 = -0,309 \text{ cm}^{-1}.$$

Dans une deuxième série de mesures nous avons pris comme origine le minimum de la raie renversée, nous avons obtenu :

- 5° Enregistrement -

$$d\nu_5 = - 0,296 \text{ cm}^{-1}$$

- 6° Enregistrement -

$$d\nu_6 = - 0,297 \text{ cm}^{-1}$$

- 7° Enregistrement -

$$d\nu_7 = - 0,291 \text{ cm}^{-1}$$

Pour ces 3 enregistrements la valeur moyenne est

$$d\nu = -0,294 \text{ cm}^{-1}$$

Toutes les valeurs obtenues ont été portées sur le graphique 3 (2ème série de mesure) qui indique comme valeur moyenne :

$$\underline{\underline{d\nu = -0,300 \text{ cm}^{-1}}}$$

Le satellite est déplacé vers le rouge d'une quantité :

$$\underline{\underline{d\lambda = 0,078 \text{ \AA}}}$$

La valeur moyenne obtenue en considérant la 1° série de mesure est :

$$\underline{\underline{d\nu = -0,305 \text{ cm}^{-1}}}$$

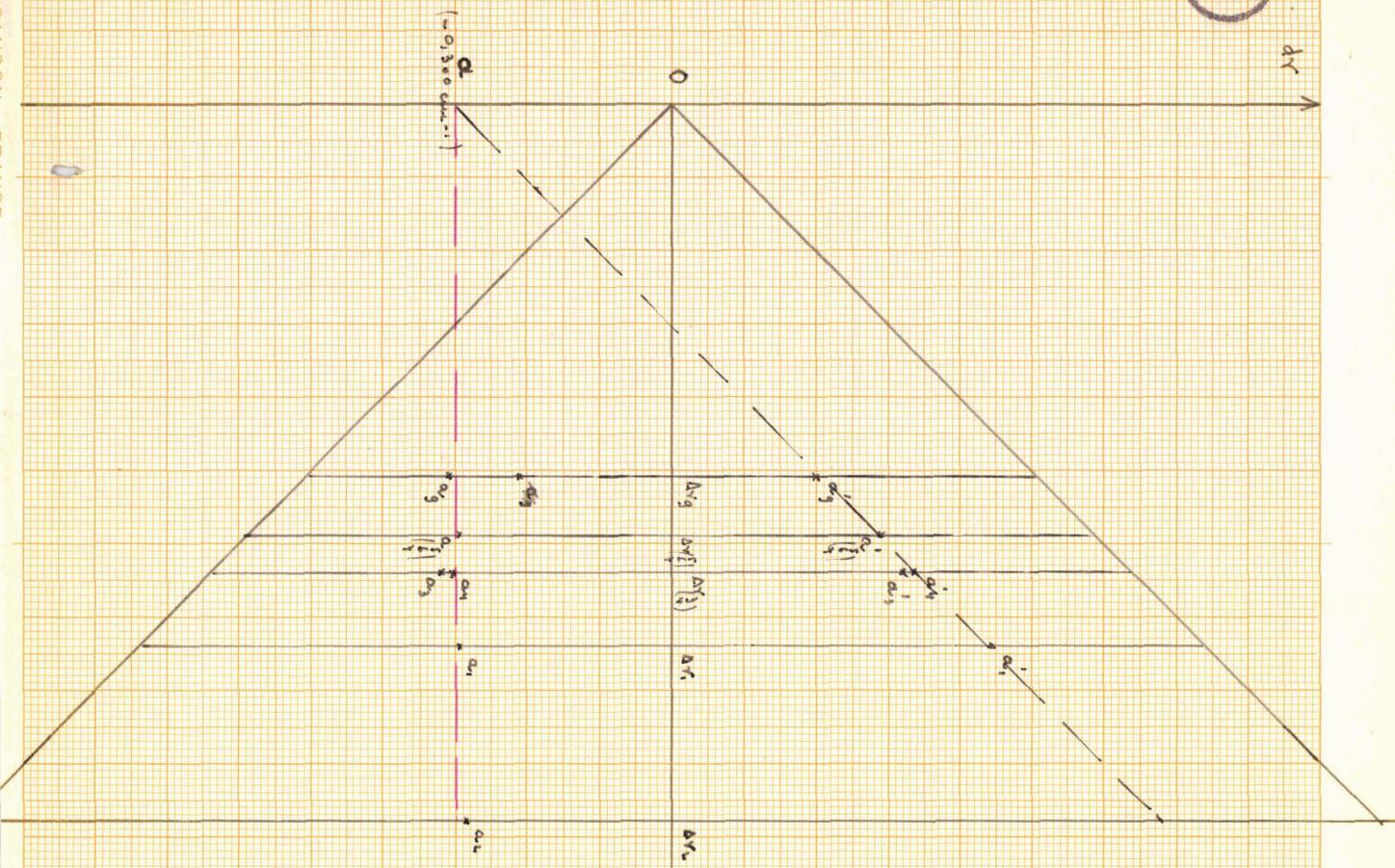
Nos résultats sont en bon accord avec ceux de Schüller et Keyston et avec ceux de Schrammen.

Finalement la seconde méthode de mesure paraît donner les résultats les plus précis.



# RAIE VERTE 5086 Å

## GRAPHIQUE 3



→ ΔV  
Domaine Spectral.

↔  
 $10^{-1} \text{ cm}^{-1}$

	a	c
Schüler Keyston	- 0,300 cm <sup>-1</sup>	+ 0,096 cm <sup>-1</sup>
Schrammen	- 0,290 cm <sup>-1</sup>	+ 0,104 cm <sup>-1</sup>
Auteur - 1° série	- 0,305 cm <sup>-1</sup>	
2° série	- 0,300 cm <sup>-1</sup>	

Nous constatons que pour une même intensité de la source la raie verte présente le phénomène de renversement tandis que la raie bleue ne le présente pas. Ceci est dû au fait que pour la raie verte le niveau d'arrivée  $^3P_2$  est un niveau métastable, tandis que le niveau d'arrivée  $^3P_1$  de la raie bleue peut donner lieu à la raie d'intercombinaison  $^1S_0 - ^3P_1$ .

D'autre part le poids statistique du niveau  $^3P_2$  est 5 alors que celui de  $^3P_1$  est 3.

Le renversement affecte essentiellement la composante centrale correspondant à l'ensemble des isotopes pairs en proportion prédominante. Toutes nos expériences ont été faites avec une lampe spectrale à vapeur de cadmium. Nous constatons que les anneaux manquent de finesse, une mesure de la finesse des anneaux montre que l'intensité maximum est réduite de moitié pour un angle  $\neq 68^\circ$ .

La mesure a été faite pour l'enregistrement n°1 de la raie verte  $e=6,78$  mm.

Cela indique un élargissement des raies dans la source.

Pour avoir une meilleure précision dans les résultats il faudrait employer une source pour laquelle sont supprimées toutes les causes d'élargissement des raies, c'est à dire une lampe à cathode creuse refroidie par l'air liquide ou un jet atomique.

- CONCLUSION -

=====

L'étude de la structure hyperfine des raies  $4800 \text{ \AA}$  et  $5086 \text{ \AA}$  du cadmium a permis de déceler la présence et de calculer les longueurs d'onde de 2 des 4 satellites de la raie bleue et d'un des 2 satellites de la raie verte. La connaissance de ces seuls satellites ne permet pas d'établir les niveaux énergétiques de décomposition des 2 raies. Nous avons ainsi retrouvé les résultats indiqués par différents auteurs et étudié la précision actuelle de notre appareil. La lampe spectrale est une source médiocre pour l'étude des structures hyperfines, tout au moins pour les raies sensibles au renversement.

-----

Cette étude a été effectuée sous la direction de Monsieur le Professeur ROIG que je prie de bien vouloir accepter tous mes remerciements.

Je tiens aussi à remercier tout spécialement Monsieur VAN HEEMS pour l'aide et les conseils très judicieux qu'il n'a cessé de m'apporter au cours de l'exécution de ce travail, qu'il veuille bien trouver ici toute l'expression de ma reconnaissance.

