

50376  
1965  
51

50376  
1965  
51

U N I V E R S I T E D E L I L L E

—oOo—

FACULTE DES SCIENCES

Diplome d'Etudes Supérieures  
de Sciences Physiques

VAQUEZ Bernard

—oOo—

Adaptation d'un spectrographe à réseau

à la

Spectrométrie dans l'infrarouge

—oOo—



Soutenu le 5 Mars 1965

devant la Commission d'Examen

Membres du Jury : Monsieur WERTHEIMER : Président  
Monsieur BECART  
Monsieur SCHILTZ

—oOo—

## TABLE DES MATIERES

---

### I INTRODUCTION

Role du dispositif réalisé

### II SYSTEME DE BALAYAGE

- a) Vitesse de rotation à obtenir pour le réseau.
- b) Principe
- c) Description détaillée
  - 1) Moteur
  - 2) Boite de vitesses
  - 3) Vis mère et écrou
  - 4) Bras
  - 5) Support de réseau
  - 6) Dispositif électrique de commande et de sécurité
- d) Vitesse obtenue.

### III VERIFICATION EXPERIMENTALE DU SYSTEME DE BALAYAGE

- a) Montage pour l'étude du visible
- b) Etude d'une raie intense.- Premier réglage
- c) Enregistrement d'un spectre cannelé
- d) Enregistrement du spectre du néon au voisinage de  $\lambda = 0,6\mu$

### IV CONCLUSIONS

## I INTRODUCTION :

- Nous nous proposons de réaliser un dispositif susceptible d'enregistrer des spectres de bandes (en particulier les spectres émis par des vapeurs métalliques portées à température élevée) au delà de la limite habituelle de sensibilité vers l'infrarouge des émulsions photographiques.

- Cette limite est de  $1,3\mu$ , mais il est difficile de se procurer du film sensible au delà de  $0,9\mu$ . Les méthodes autres que la photographie, inévitables au delà de  $1,3\mu$ , peuvent donc s'appliquer avantageusement à la région spectrale  $0,9$  à  $1,3\mu$ .

- Nous devons profiter au maximum des installations préexistantes ce qui nous amène à adapter à notre étude un appareil à réseau uniquement équipé jusque là pour la photographie.

- Nous devons également conserver la possibilité d'une utilisation en spectrographe. Cette double obligation commande les transformations effectuées.

Le spectroscopie initial possède une optique en verre et cette optique est conservée pour l'étude infrarouge. La limite d'utilisation d'une telle optique dans l'infrarouge étant  $2,5\mu$  le spectroscopie transformé sera donc un appareil d'étude du proche infrarouge.

- Pour l'étude de ce proche infrarouge, de  $0,8$  à  $2,5\mu$ , le récepteur idéal est la cellule photorésistante au sulfure de plomb dont le rendement lumineux est optimum entre  $1$  et  $3\mu$ .

- Tandis que la plaque photographique enregistre simultanément toute l'information relative à un intervalle spectral étendu, la cellule n'en mesure qu'un élément à chaque instant. Le dispositif de balayage permet ici, en assurant la rotation du réseau, de faire défiler sur la cellule le spectre à étudier.

.../...



Le réseau prévu pour notre étude infrarouge compte 600 traits par mm. La relation (1) nous permet de voir que le réseau peut être utilisé jusque 3,3 microns dans le 1<sup>er</sup> ordre et jusque 1,6 microns dans le 2<sup>ème</sup> ordre. Pour la zone spectrale allant de 1 micron à 2,5 microns nous utiliserons donc le 1<sup>er</sup> ordre de 1,6 à 2,5 microns et le 2<sup>ème</sup> ordre de 1 à 1,6 microns.

Le pouvoir de résolution du réseau  $R = NK$  est 42000 dans le premier ordre. Son pouvoir séparateur est minimal :

- Dans le 1<sup>er</sup> ordre pour  $\lambda = 1,6 \mu$        $\Delta \lambda = 0,4 \text{ A}$
- Dans le 2<sup>ème</sup> ordre pour  $\lambda = 1 \mu$        $\Delta \lambda = 0,25 \text{ A}$

Les vitesses de rotation correspondant à de tels défilements et calculées avec la relation (2) sont :

- Dans le 1<sup>er</sup> ordre       $di_1 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ rad/Seconde}$
- Dans le 2<sup>ème</sup> ordre       $di_2 = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ rad/Seconde}$

Le système de balayage permettant un enregistrement de la zone spectrale allant de 1 à 2,5 microns doit donc assurer la rotation du réseau avec une vitesse voisine de  $0,5 \cdot 10^{-5} \text{ rad/Seconde}$

Afin de comparer nos enregistrements à la photographie nous effectuerons nos essais dans le visible avec un réseau comportant 2200 traits par mm et ayant un pouvoir de résolution 125000.

Dans ce cas la vitesse à obtenir aux environs de  $\lambda = 0,6 \mu$  est de l'ordre de  $0,8 \cdot 10^{-5} \text{ rad/Sec.}$

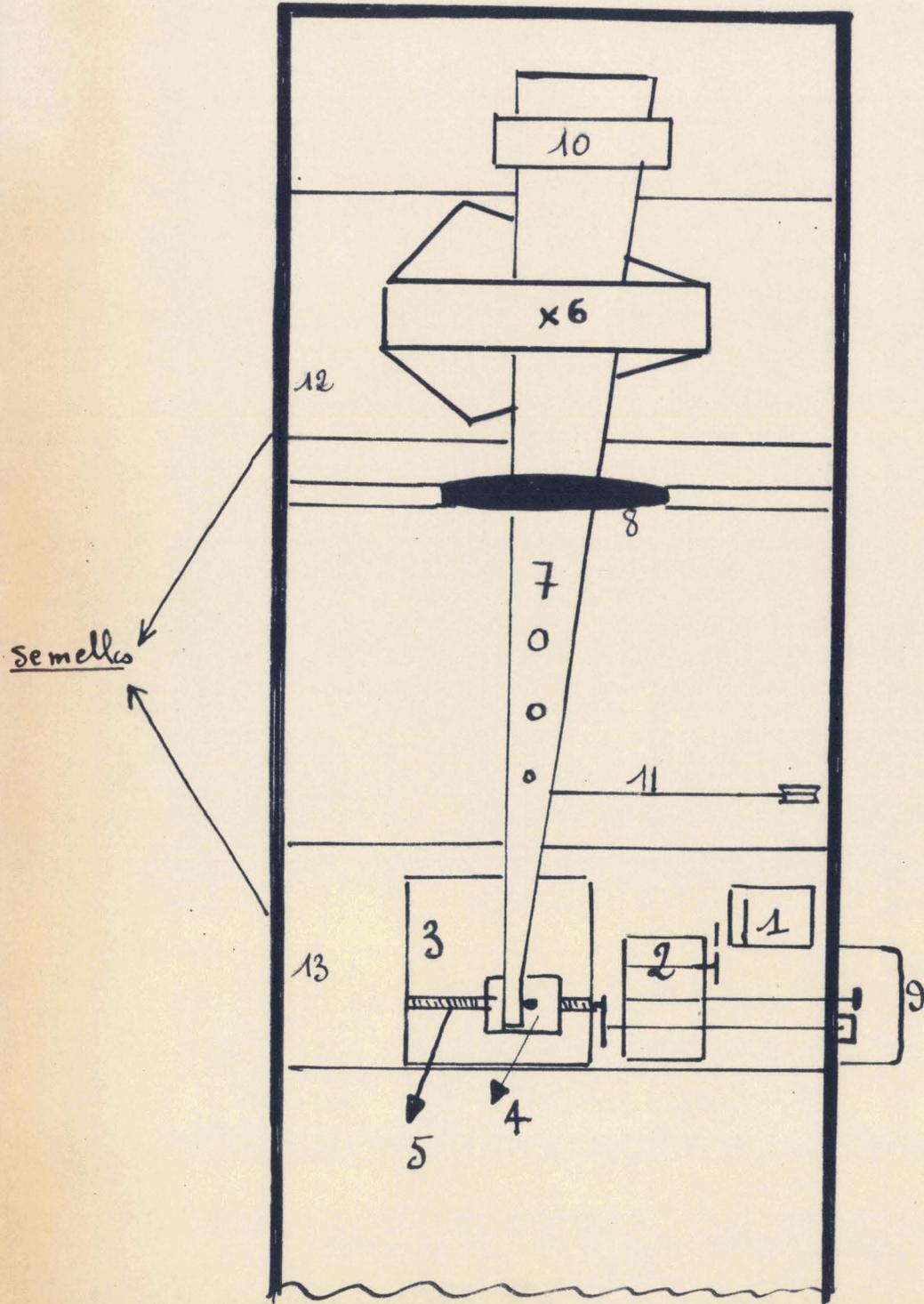
#### b) Principe

La vitesse très lente à obtenir nous a conduits à envisager le dispositif suivant : (figure n° 1)

.../...

Figure 1

Vue d'ensemble du dispositif -



- Un mouvement de rotation est obtenu par un moteur électrique lent (1)
- Le mouvement de rotation est transformé en un mouvement de translation par un écrou (4) se déplaçant sur une vis (5) entraînée par le moteur
- Cette translation est utilisée par l'intermédiaire d'un bras (7), pour communiquer une rotation au support de réseau (6) à axe vertical

Le bras fixé sur le support de réseau est le plus long possible afin de réduire l'influence des irrégularités inévitables de la vis et de l'écrou

Le mouvement très lent permettant un enregistrement d'une finesse comparable à celle de la photographie demande 20 secondes pour faire défiler 1 Angström au voisinage de 0,6 $\mu$  (réseau 2200 t/mm) . Il se prête mal à une première exploration des spectres pouvant comporter de larges régions obscures. Nous avons donc intercalé une boîte de vitesses (2) entre le moteur et la vis. Cette boîte comporte 2 vitesses :

- Une vitesse d'exploration "rapide"
- Une vitesse d'étude "lente"

Le support de réseau (6) très stable occupe **presque** entièrement le compartiment "arrière" du spectrographe. Le moteur, la boîte de vitesse, la vis ont donc été placés dans la partie avant. Le bras passe sous la lentille (8).

Les commandes de ces différents appareils ont été regroupées sur un tableau (9) extérieur au spectrographe.

### c) Description détaillée

#### 1 - Moteur (fig 2)

Le moteur S.A.P.M.I a été choisi avant-arrière 60 tours/minute. De cette manière le spectre peut être balayé dans les deux sens et on peut faire une moyenne des deux pointés obtenus pour une raie. On élimine ainsi le décalage dû à la "réponse" de la cellule.

Figure 2

Fixation du moteur

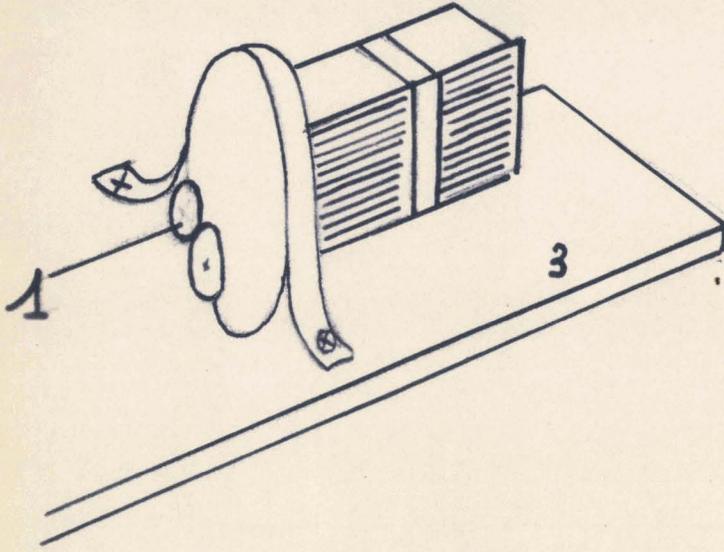
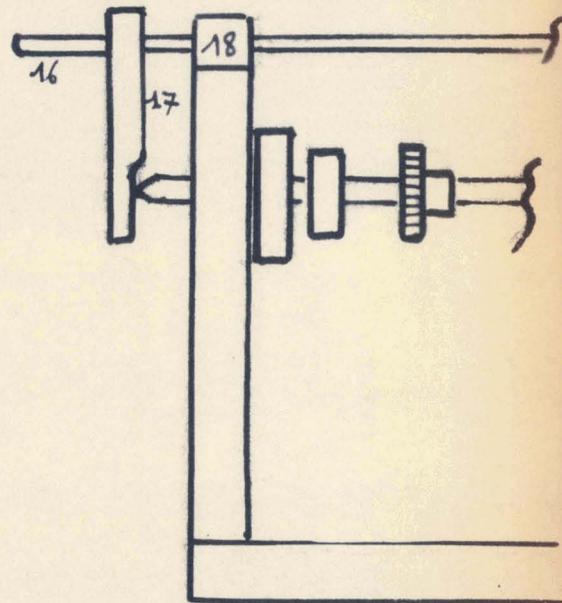
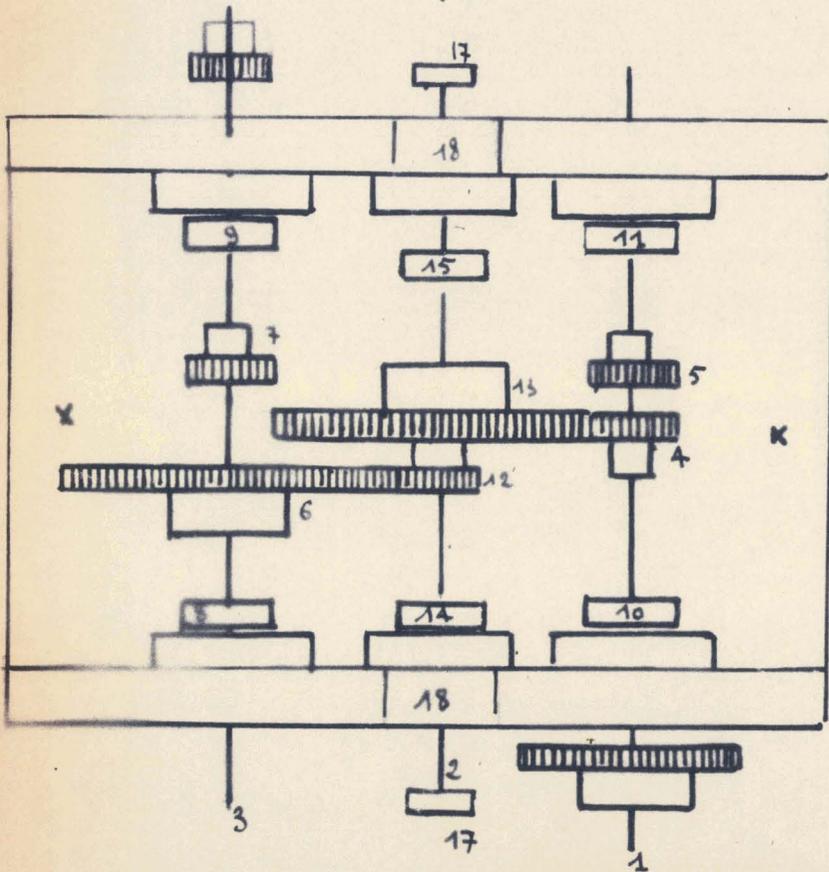


Figure 3

Boîte de vitesses



Le moteur est fixé par une bride (2) sur la semelle métallique-support (3), le mode de fixation permet de modifier la position de l'axe (1). On peut faire varier la distance entre l'axe de sortie du moteur et l'axe d'entrée de la boîte de vitesse.

On a ainsi la possibilité de remplacer les deux pignons par deux autres ayant un rapport différent et même distance entre leurs axes.

### 2 - Boîte de vitesses (Figure 3)

La partie support est formée de deux joues en duralumin de 10 mm, fixées sur une semelle de 10 mm et traversées par 3 axes :

- L'axe d'entrée (1) porte 2 pignons de 20 (4) et (5)
- L'axe de sortie (3) porte le pignon de 100 (6) et le pignon de 20 (7) ; les deux axes sont maintenus latéralement le premier par les butées (8) et (9), le second par les butées (10) et (11)
- L'axe secondaire (2) est porteur des pignons de 20 (12) et de 100 (13). Les butées (14) et (15) permettent un déplacement latéral qui laisse 3 possibilités.

1) Dans le cas représenté par la figure 3 le pignon (4) entraîne le pignon (13) et le pignon (12) le pignon (6). Les rapports entre les pignons  $\frac{1}{5} \times \frac{1}{5}$  donnent une démultiplication de  $\frac{1}{25}$

2) Lorsque le pignon (13) entraîne les pignons (5) et (7) les rapports entre les engrenages deviennent  $\frac{1}{5}$  et 5. L'axe de sortie de la boîte tourne à la vitesse de l'axe de sortie du moteur.

3) Lorsque les pignons (12) et (13) n'entraînent aucun autre pignon on a alors la position " débrayée " : la partie suivant la boîte de vitesses n'est plus entraînée par le moteur

Deux dispositifs annexes assurent la manipulation et le contrôle du système :

- Une "fourchette" formée par l'axe (16) et les deux pièces (17) permet de placer l'axe mobile (2) de la boîte de vitesses dans une des trois positions précédentes. L'axe (16) coulisse sur deux "butées" (18) fixées sur les joues de la boîte de vitesses et sort de la caisse du spectroscopie sur le tableau de commande. Les extrémités de l'axe (2) ont été rendues coniques afin de diminuer les frottements dus à cette commande.

- Un flexible relié à un compteur miniature a été branché au bout de l'axe (3). On connaît ainsi le nombre de tours effectués par cet axe et la position de l'écrou sur la vis-mère est alors parfaitement déterminée

Cette boîte joue donc un rôle :

de démultiplication au  $\frac{1}{25}$  pour obtenir la vitesse lente.

de liaison pour obtenir la vitesse rapide

Vis-mère et écrou : Figure 4

La vis et son support sont extraits tels quels d'une machine à diviser vieille de près d'un siècle. Ils ont été conservés intégralement pour la qualité de la vis, pour la bonne stabilité du support qui interdit toute déformation à la vis (1), ce qui élimine des frottements importants et difficilement contrôlables.

La vis, de pas 1 mm, de longueur 12 cm, est entraînée par un pignon de 20 fixé sur l'axe de sortie de la boîte de vitesses.



Il entraîne un pignon de 100 solidaire de la vis-mère (2). Le rapport des pignons  $100/20$  réalise une démultiplication au  $1/5$ . D'autre part le choix des rayons permet le remplacement du couple de pignons précédent par un autre couple de rapport différent mais ayant même distance entre axes. (exemple 60 et 60)

La rotation de la vis provoque la translation d'un écrou (3) solidaire d'un bras (5) en duralumin léger dont l'extrémité (6) est guidée par la tige (7) en acier poli à faible coefficient de frottement. On a choisi pour ce bras la plus grande longueur compatible avec les dimensions du support.

En effet le moment des forces appliquées perpendiculairement à la tige (7) et qui tendent à s'opposer à la rotation de l'écrou est de la forme :

$$M_1 = Fd$$

- F est la force de réaction de la vis (12) sur le bras.

- d la distance à l'axe de la vis-mère.

Le moment  $M_1$  est au moins égal au moment du couple "moteur" et reste constant. La composante horizontale de la force de frottement est de la forme  $f = K F$ . Il y a ainsi intérêt à prendre d le plus grand possible pour diminuer les frottements sur la tige-guide (7).

La force de frottement f tend à faire tourner l'écrou dans le plan contenant la vis-mère et la tige-guide. Cet écrou est ainsi soumis au moment  $m_2 = fd$ . L'axe de rotation est perpendiculaire à l'écrou en O. La réaction de la vis sur l'écrou s'oppose à la rotation. Cette réaction se décompose en deux réactions  $R_1$  et  $R_2$  de même intensité  $R_1 = R_2 = R$ , appliquées en deux points symétriques de O.

On a :  $2 R x \gg m$

avec x distance du point d'application de  $R_1$  à O.

On est donc amené à prendre  $x$  grand pour que la réaction soit petite. Ce qui revient à allonger l'écrou pour limiter le frottement dû à la "torsion" de l'écrou.

L'allongement entraîne une augmentation des frottements "écrou-vis mère". Pour réduire ces frottements et les contrôler l'écrou a été fendu longitudinalement (13). Il a ensuite été "rodé" à sec sur le tour un grand nombre de fois. Les jeux ont été réglés au cours du rôdage avec les vis de serrage (14).

Ces derniers frottements restent néanmoins très supérieurs aux "frottements de torsion" beaucoup plus difficiles à connaître et à rendre constants.

La forme longue de cet écrou contribue ainsi à donner plus de régularité au mouvement.

L'écrou porte une butée B (4) sur laquelle va s'appuyer le bras moteur du réseau. Cette butée est en acier "Stub" rond poli de coefficient de frottement faible. La distance du point d'appui du bras au point B a été choisie la plus petite possible afin de diminuer le frottement dû à la torsion dans le plan perpendiculaire à la vis et passant par O.

#### 4 Bras (Figure 5)

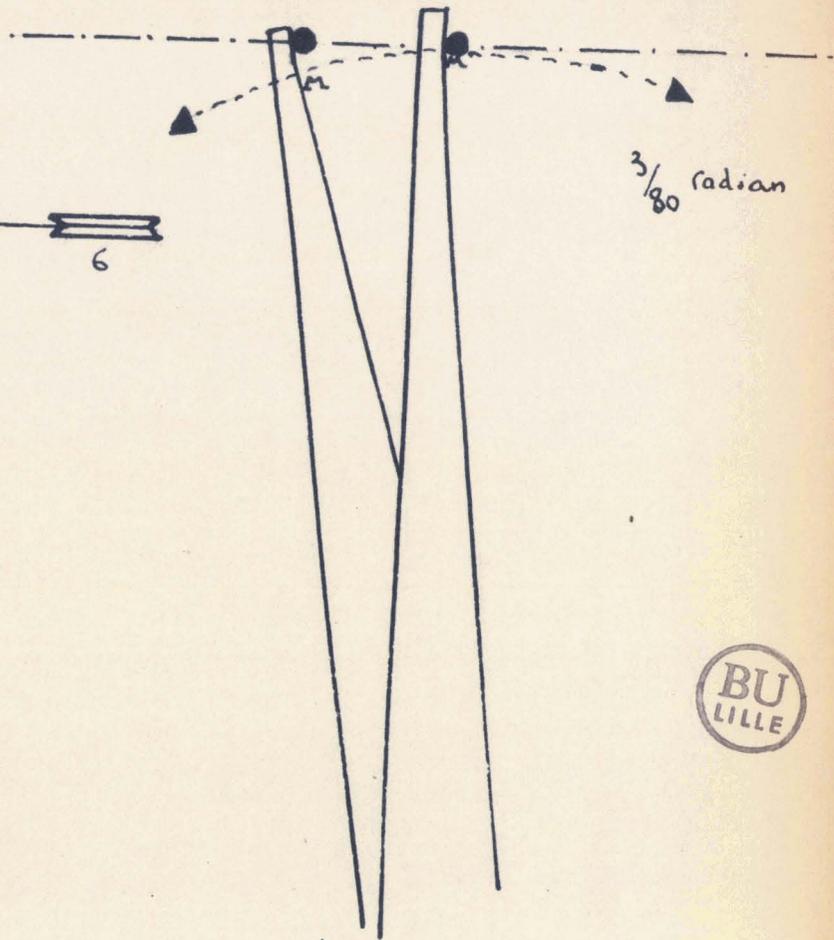
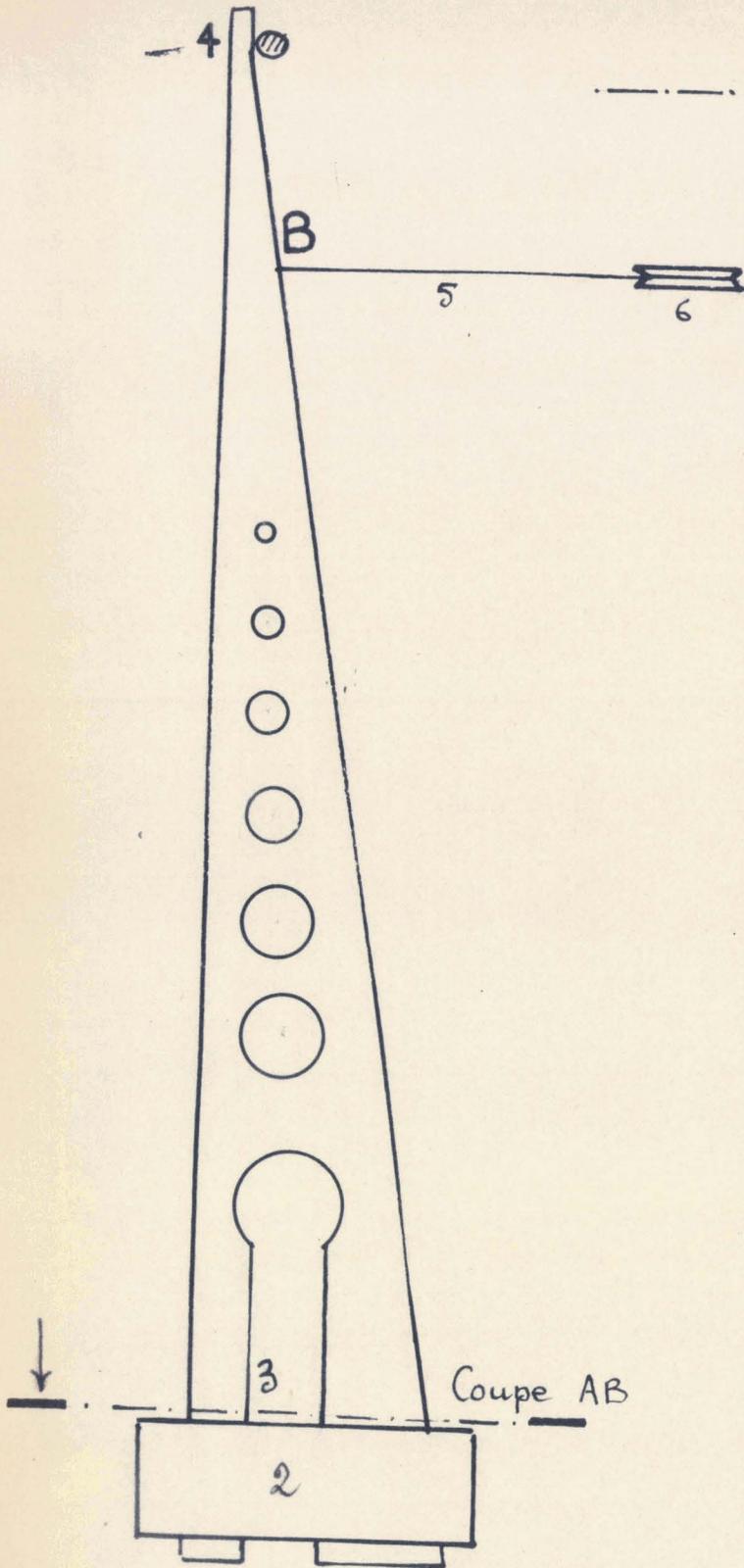
Le bras assure la liaison entre l'écrou mobile et le support de réseau mobile. Il transforme le mouvement de translation en un mouvement de rotation très lent. Le système constitué par la vis-mère avec son écrou et le bras, a un rôle démultiplicateur important :

En effet, soit  $x$  le nombre de tours/seconde de la vis-mère. L'avancement est alors de  $x \frac{\text{mm}}{\text{seconde}}$ .

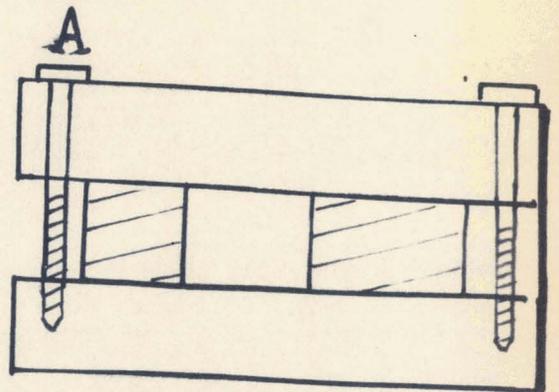
Comme le bras (de l'axe de rotation au point d'appui) a une longueur de 800 mm, l'angle balayé est  $\frac{x}{800}$  radian. La démultiplication est donc de l'ordre de  $\frac{1}{800}$ .

Figure 5

Bras



Déplacement du point de contact au cours de la rotation



Contrepoids (Coupe AB)

...  
Cette démultiplication aurait pu être réalisée avec une série d'engrenages. Par exemple, 4 couples de pignons 100/20 en cascade, donnent une démultiplication du même ordre. ( $\frac{1}{625}$ ). Cependant les difficultés de réglage pour éliminer les "jeux" et les "durs" c'est à dire pour rendre constants les frottements, le fait que nous avons une vis soignée à notre disposition, ont fait préférer la première solution.

Ce bras, en dural d'épaisseur 8 mm, est un triangle allégé par une série de trous de diamètres croissants : les déformations par flexion sont bien plus petites que celles d'une tige de même masse, de même longueur mais de section constante.

L'axe de rotation du bras est l'axe de rotation du support de réseau mobile (1). Afin d'éviter une torsion de cet axe, le bras est équilibré par un contrepoids (2) qui permet de raccourcir sa partie arrière située dans la partie la plus réduite de la caisse du spectroscope. Ce contrepoids en laiton (figure 5 coupe ab) est amovible. La vis A permet la mise en place, le réglage en position et la fixation.

Les impératifs du montage imposent la mise en place du support de réseau avant celle du bras. La partie arrière (3) a été évidée ce qui permet le passage de l'axe du support de réseau jusqu'à sa position (1)

Ce bras appuie sur la tige verticale d'acier "Stub" fixée sur l'écrou ; il se termine dans ce but par un doigt (4) soigneusement poli. Le point de contact se déplace, en effet, au cours de la translation de l'écrou (figure 5).

Le déplacement utile de l'écrou est 6 cm. L'angle balayé est  $\pm \frac{3}{80}$  de radian. La variation de longueur du bras est donnée par l'expression

$\frac{80}{\cos \theta} - 80$  soit  $80 \frac{\theta^2}{2}$ , le déplacement de 0,5 mm. Ce déplacement du point d'appui est de 2ème ordre par rapport à tous les autres.

Les frottements qui en résultent sont négligeables.

Le contact du bras sur la tige d'acier "Stub" et le retour du bras après un balayage "aller" sont assurés par une force de rappel appliquée en B (figure 5). Cette force, parallèle à la vis, est exercée par un fil fin (5) passant par une poulie (6) et à l'extrémité duquel on a suspendu un poids en laiton qui doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

- Il doit être important par rapport aux frottements de toutes sortes qui s'opposent au fonctionnement du système. De cette manière le moteur doit vaincre un couple sensiblement constant. On obtient ainsi un mouvement régulier.
  - Il doit rester assez faible pour ne pas provoquer une torsion de l'écrou dans le plan vertical passant par l'axe de rotation de la vis. Cette torsion provoquerait des frottements difficilement contrôlables et variables.
  - En définitive ce poids a été choisi expérimentalement par enregistrement "du bruit de fond" de l'ensemble mécanique (cf réglage paragraphe III)
- La valeur de ce poids représente un compromis entre les deux conditions précédentes.

#### 5 Supports de réseau (figure 6)

La conception de ces supports doit répondre aux conditions suivantes :

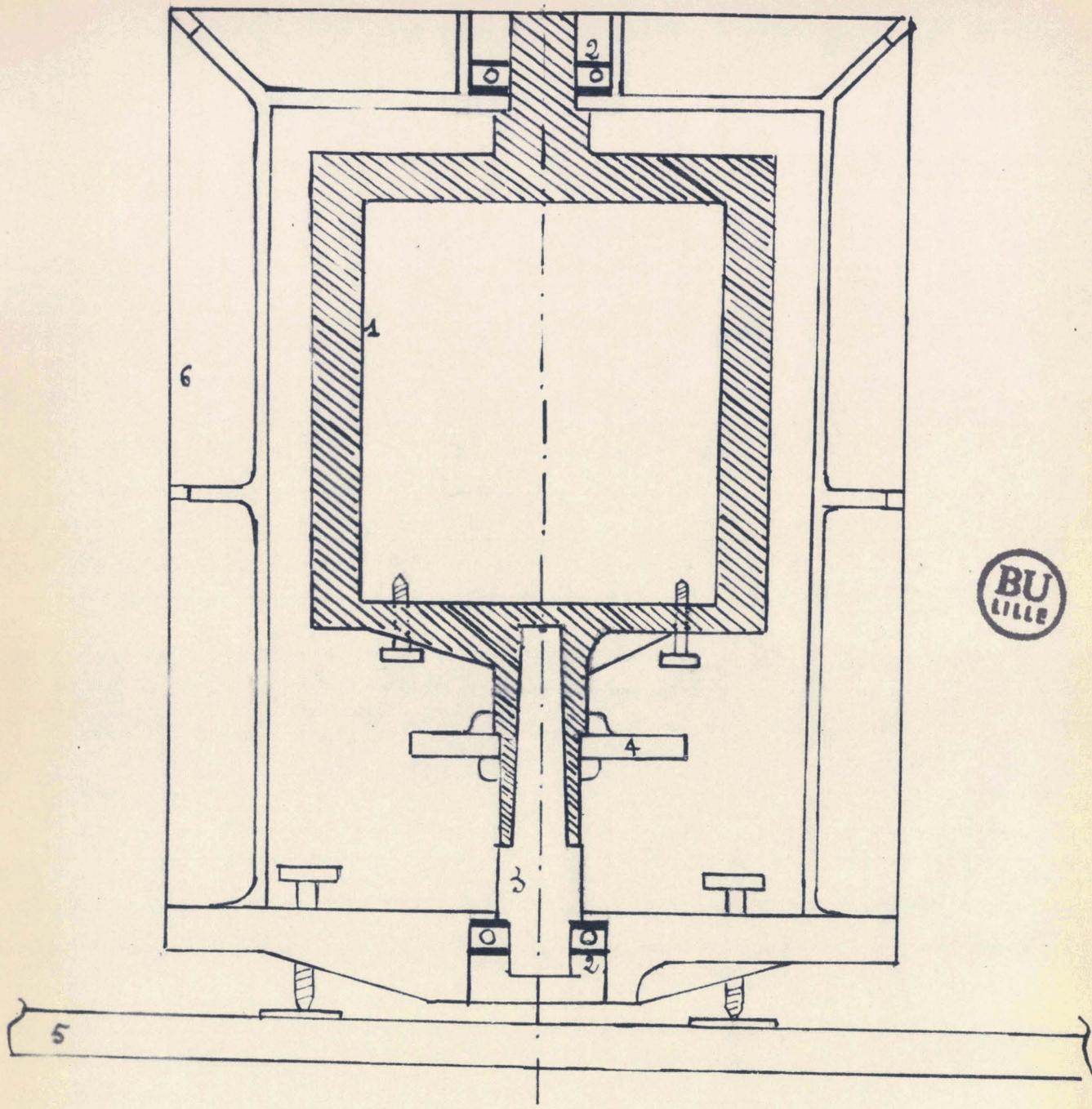
- Les traits du réseau doivent être verticaux et le rester au cours de la rotation qui permet de faire défiler le spectre sur la cellule.
- L'axe de rotation doit donc être parfaitement vertical.

Le système de deux supports de la figure 9 peut satisfaire aux exigences précédentes :

.../...

Figure 6 :

Supports de réseau à l'échelle 1/2



- 1 Petit support
- 2 Roulements
- 3 embout
- 4 bras
- 5 scelle
- 6 Grand support

- Un premier support (1) comporte 3 vis calantes qui permettent de rendre les traits du réseau parallèles à l'axe de rotation.
- Le petit support est mobile dans le grand support (2) autour de l'axe commun xy.
- Cet axe est réglé verticalement par action sur les 3 vis calantes du grand support.

La réalisation de ces supports doit tenir compte :

- de la dimension des réseaux à utiliser en ce qui concerne le petit support
- de la hauteur du centre optique de la lentille, qui détermine la position du petit support dans le grand support.

(D'où les dimensions indiquées sur la figure 6)

D'autre part, le réglage complet du réseau étant assez long, il importe que cet ensemble soit stable donc peu sensible aux chocs, vibrations etc. Pour cette raison, ces deux supports ont été coulés en fonte de masse volumique relativement importante. Le poids de ces pièces a nécessité le renforcement du fond du spectroscopie par une semelle fixée aux armatures.

On a choisi une nuance de fonte à grain fin plus facile à usiner.

Le travail a comporté :

- pour le petit support une réduction du diamètre de la partie cylindrique pour l'amener à celui du roulement à billes
- pour le grand support l'alésage des deux parties cylindriques au diamètre des roulements à billes.
- Cet usinage doit être d'une précision inférieure à 50 microns. Il faut en effet que la fixité de l'axe au cours de la rotation soit assurée pour que les déplacements du spectre correspondant aux jeux n'excèdent pas 0,1 mm.

- Le grand support repose sur la semelle par trois "coupelles" : deux sont fixées et empêchent le "glissement" du système ; la 3ème est mobile pour faciliter la mise en place.

- Le petit support est maintenu entre deux roulements à billes. Bien que prévus surtout pour les mouvements rapides, ces roulements n'opposent à une rotation lente qu'un couple de frottement très faible et bien constant.

D'autre part, l'emploi de roulements à billes permet d'améliorer le centrage.

Le mouvement de rotation est transmis par le bras au petit support. Ce bras qui a été évidé dans sa partie arrière est glissée sur la partie cylindrique de diamètre  $\phi_1$  puis remonté jusqu'à son logement de diamètre  $\phi_2$ .

Il est alors maintenu entre deux collerettes l'une au-dessus, l'autre en dessous. Il est donc possible d'orienter le bras par rapport au support et éventuellement d'assurer le blocage par serrage de ces collerettes. Mais il est préférable de s'en tenir au frottement doux car le bras entraîne parfaitement le réseau ~~que~~ l'on peut orienter sans déplacer le bras

La rotation du réseau peut être repérée par une lecture sur un cadran gradué en degrés, solidaire du petit support et se déplaçant devant un vernier au dixième fixé sur le grand support.

Une précision de cet ordre n'est en général pas nécessaire pour placer le réseau dans une position permettant l'analyse d'une zone spectrale donnée :

En effet lors d'un enregistrement il est possible de balayer avec le bras un angle de  $\pm \frac{3}{80}$  radian (cf figure 8) soit  $\pm 2^\circ$ . En conséquence une précision du degré serait suffisante pour retrouver une raie dans le champ d'opération.

Le vernier ~~les~~ utilisé lorsqu'il s'agit de déterminer la portion d'une raie particulière. Cette détermination ne dépend pas de la position de fixation du bras, sur le support mobile. Au contraire le repérage de la même raie au compteur dépend de l'orientation initiale du bras par rapport au réseau.

Il est intéressant de comparer les précisions des deux méthodes de repérage. Le cadran donne une lecture à  $\pm \frac{1}{10}$  de degré près soit  $\pm \frac{18}{10.000}$  de radian. Cet angle correspond à une rotation

$$\text{pour la vis mère de } \frac{18}{10.000} \times 800$$

$$\text{soit } \pm 1,5 \text{ tours}$$

pour l'axe de sortie de la boîte de vitesses  $\pm 7,5$

Ces 7,5 tours sont enregistrés au compteur. Le repérage au compteur permet donc une précision au moins 5 fois plus grande. Comme il est plus commode et plus rapide, il sera employé le plus souvent possible.

#### 6 Dispositif électrique de commande et de sécurité - (fig 7)

Les appareils précédents mis en série fonctionnent dès que le moteur SAPMI est placé sous tension par la fermeture de l'interrupteur K. Lorsque l'écrou arrive à une extrémité de la vis, un microrupteur  $m_1$  permet l'ouverture du circuit et l'arrêt du moteur. Il est possible de renvoyer l'écrou dans l'autre sens en changeant la position du "bouton 2 positions" B. On passe alors sur un circuit symétrique du premier faisant tourner le moteur dans l'autre sens. Un microrupteur  $m_2$  permet l'arrêt de l'écrou à l'autre extrémité de la vis.

Cette **sécurité** est nécessaire : On risquerait en laissant tourner le moteur après que l'écrou est arrivé en fin de course de détériorer le support et la vis.

En effet, si C est le couple exercé par le moteur à l'entrée de la boîte de vitesse, le couple agissant sur la vis est 125 C (mouvement lent). Le travail pour un tour

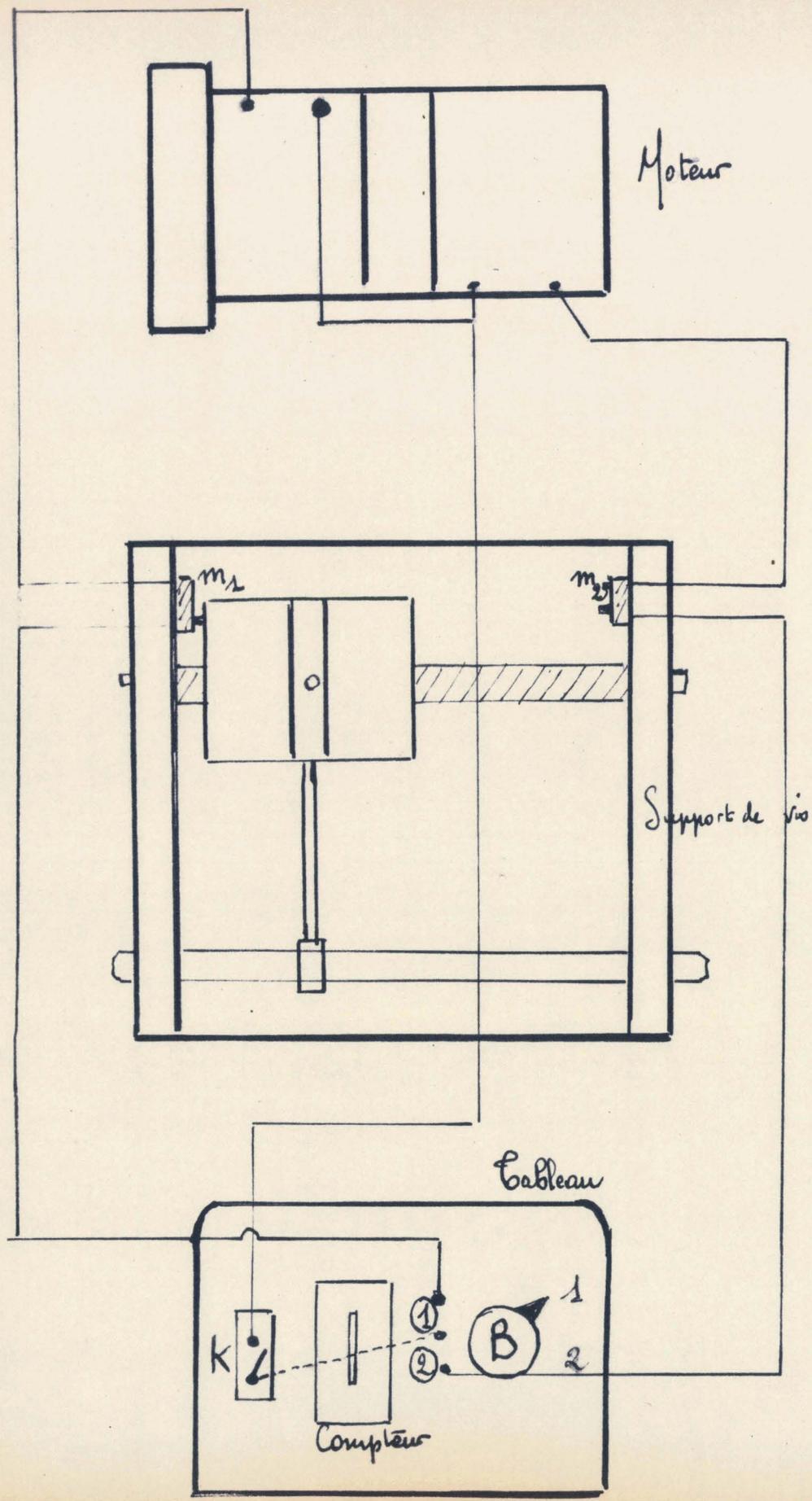
$$W = 125 C \cdot 2\pi = F \times d$$

avec d: pas de la vis mère

F: force résultante agissant sur l'écrou.

Figure 7

Dispositif électrique de contrôle et de séparation



En remplaçant  $C = 0,001$  Kgm et  $d = 0,001$  m on obtient un ordre de grandeur pour F.

F est de l'ordre de la tonne.

Les deux microrupteurs utilisés sont du même modèle que ceux existant dans les fers à souder "instantanés". La force à exercer pour enfoncer le "bouton poussoir" est très faible et le déplacement à accomplir est très petit. D'autre part ces microrupteurs sont de dimensions réduites. On diminue donc peu la longueur utile de la vis en les installant comme le montre la figure 7.

L'interrupteur K et le bouton B sont placés sur le même tableau de commande que le changement de vitesse mécanique et le compteur. Ce regroupement des commandes facilite la manipulation dans l'obscurité.

#### d) Vitesse obtenue

Le moteur a une vitesse de rotation de 1 tour/seconde. L'attaque de la boîte de vitesses par le moteur se fait avec deux pignons identiques. En vitesse lente, à la sortie de la boîte, la vitesse de rotation est  $\frac{1}{25}$  tour/seconde. La vis est donc entraînée avec une vitesse de  $\frac{1}{125}$  tour/seconde. Le pouvoir démultiplicateur du système "vis bras" étant  $\frac{1}{800}$  la vitesse de rotation du réseau est :

$$\omega = \frac{1}{100\ 000} \text{ rad/seconde}$$

Cette vitesse permet donc l'enregistrement de la zone allant de  $1,6\mu$  à  $2,5\mu$  dans le premier ordre, dans les conditions prévues au paragraphe II-a. Elle ne peut être utilisée que si elle est régulière. D'autre part, les irrégularités de vitesse  $\Delta\omega$  qui sont dues à des coincements légers suivis de brusques détenteurs dépendent très peu de la vitesse elle-même dans ce domaine des mouvements très lents.

...  
Le quotient  $\frac{\Delta\omega}{\omega}$  mesurant l'irrégularité de l'appareil augmente si  $\omega$  diminue. On ne peut donc diminuer utilement la vitesse avant d'être assuré de la régularité par l'expérience.

Cette régularité étant satisfaisante, il convient alors de réduire la vitesse pour effectuer l'enregistrement de la zone  $1\mu$  à  $1,6\mu$ . Cette réduction sera effectuée en substituant un couple de pignons de rapport  $\frac{1}{2}$  au couple de rapport 1 assurant la liaison "moteur boîte de vitesse"

### III VERIFICATION EXPERIMENTALE DU SYSTEME DE BALAYAGE

Il est utile de connaître les possibilités du dispositif mécanique à intégrer dans le spectroscope avant de passer à l'étude de l'infrarouge proche. Nous allons examiner le fonctionnement de l'appareil dans le visible pour situer ses possibilités par rapport à la photographie. Le système sera considéré comme satisfaisant si les imprécisions qu'il entraîne sont négligeables devant les autres causes d'erreur (électriques ou optiques).

#### a) Montage pour l'étude du visible

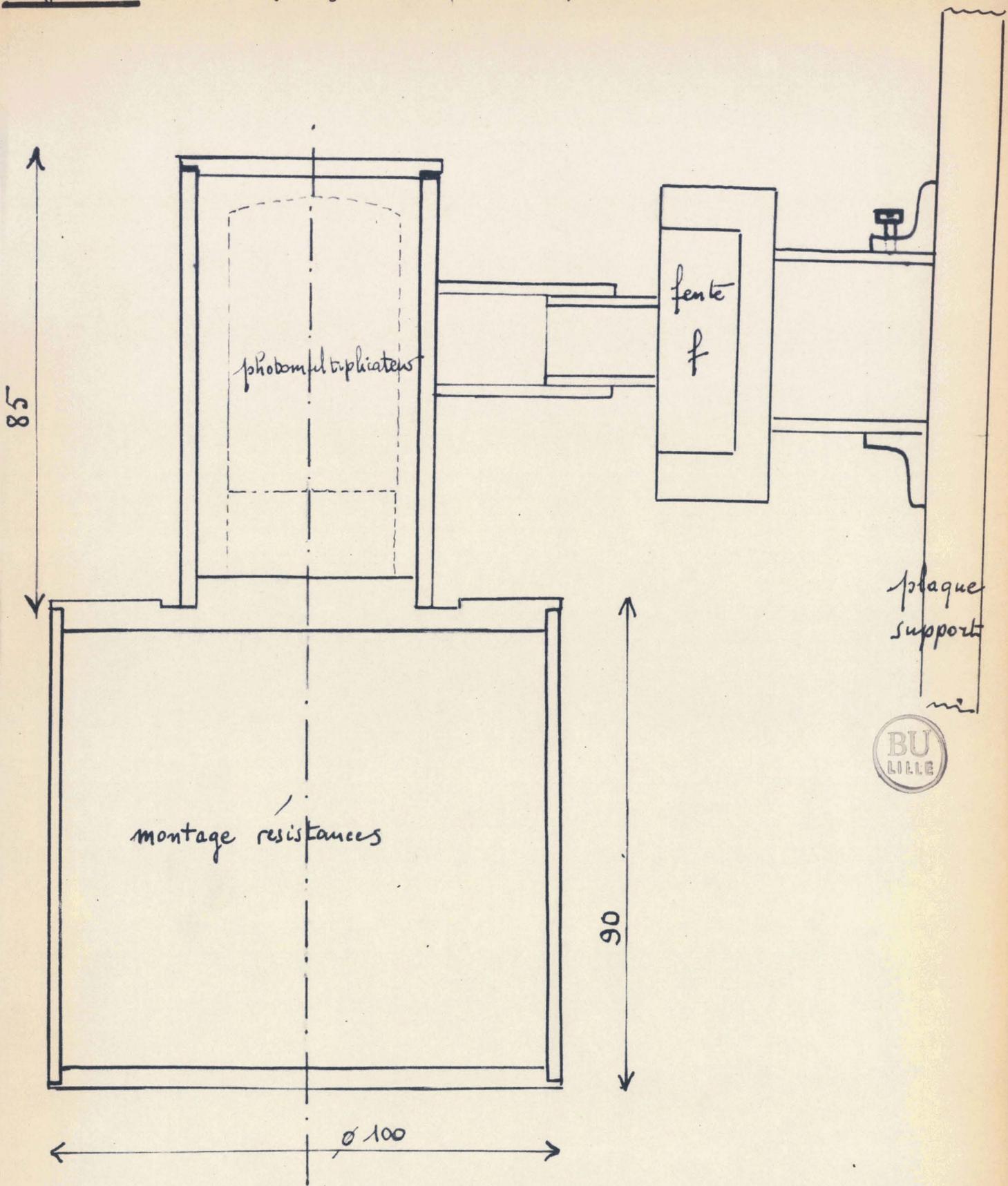
Il y a avantage à remplacer la cellule ~~en~~ sulfure de plomb, peu sensible dans le visible, par un autre récepteur convenant mieux à cette zone. Nous utilisons ici un photomultiplicateur pouvant éventuellement fonctionner sans amplification.

Le photomultiplicateur a été installé dans une enveloppe double (Fig 8)

La boîte supérieure permet de placer le photomultiplicateur à l'abri de la lumière parasite. Elle est fixée sur la fente de sortie  $f$  par un ajustage qui permet de recueillir le signal lumineux et d'ancrer par coulissement la cellule à sa position optimale. La fente est elle même fixée à la plaque support du spectroscope de même dimension que la plaque support photographique et interchangeable avec elle.

Figure 8

: Montage du photomultiplicateur.



Le spectroscope peut donc passer très rapidement de l'enregistrement par cellule, au dispositif photographique. La boîte inférieure contient les résistances montées entre les broches du photomultiplicateur et comporte deux bornes coaxiales :

L'entrée branchée à l'alimentation HT  
variable (800 à 1600 V)

La sortie reliée à un enregistreur ici  
un galvanomètre Kipp

Le montage complet comprend donc la source, le spectroscope avec le dispositif de balayage, le photomultiplicateur avec une alimentation et un enregistreur.

b) Etude d'une raie intense - Premier réglage du système mécanique

- La source choisie est une source au néon
- L'alimentation du photomultiplicateur est prise à 1000 volts
- Le système de balayage est déclenché. Pour l'indication 55 du compteur, l'enregistreur en sensibilité moyenne donne une courbe qui est celle de la figure (9a)

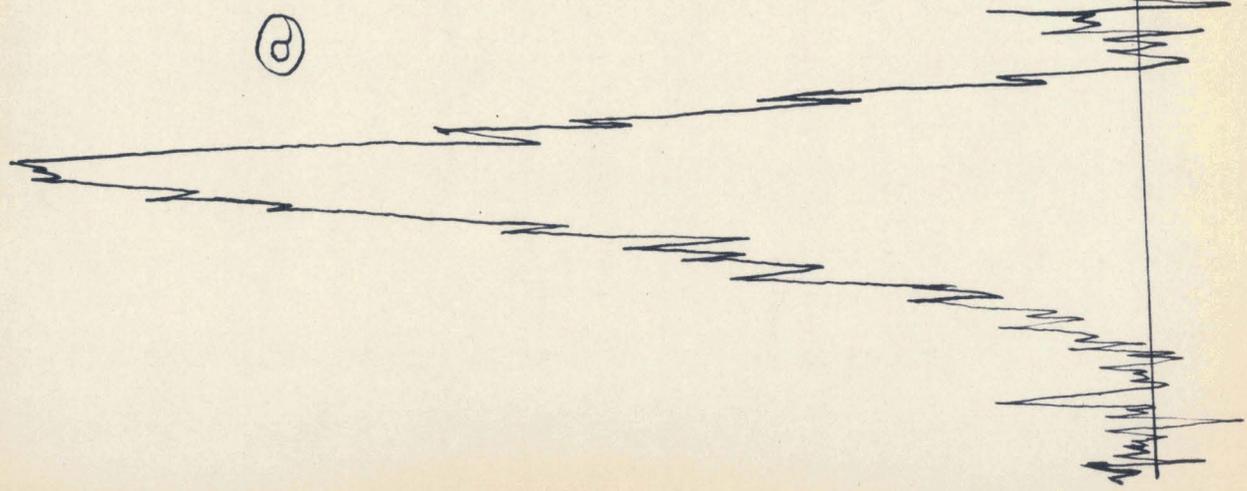
La courbe enregistrée montre nettement la présence d'un maximum. Cependant le style de l'enregistreur est trop instable pour que la courbe soit exploitable. On a en effet une oscillation parasite qui atteint environ  $\frac{1}{5}$  de l'amplitude de la raie. Nous recherchons systématiquement si cette oscillation parasite provient du système mécanique.

La fermeture de la fente d'entrée du spectroscope laisse subsister une ondulation (Fig 9b). Si le dispositif mécanique du balayage est arrêté l'ondulation disparaît.

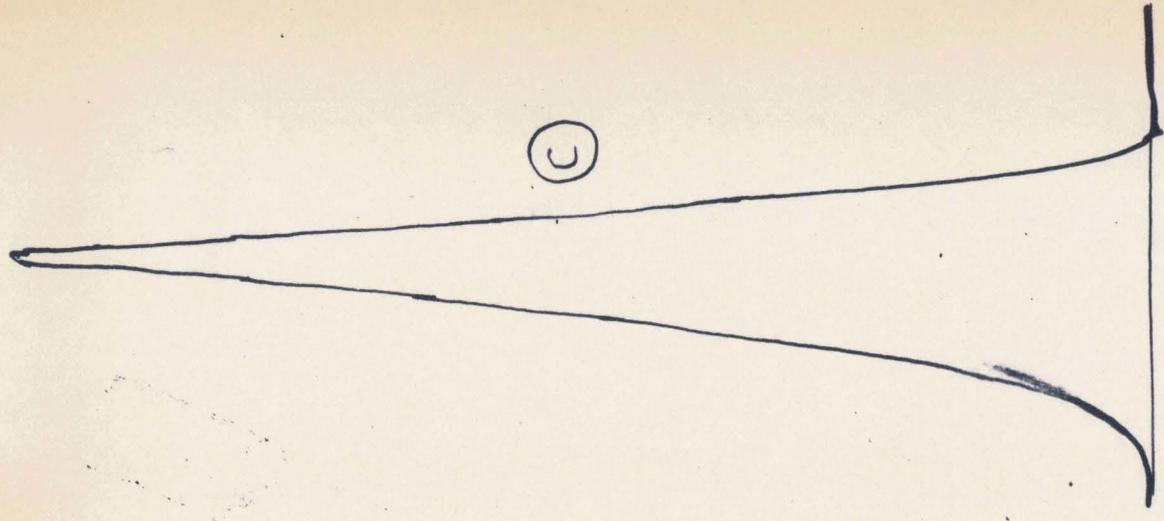
Il existe bien ici un "bruit de fond" dû au dispositif mécanique et qu'il faut localiser

Figure 2

1<sup>er</sup> Réglage du dispositif mécanique

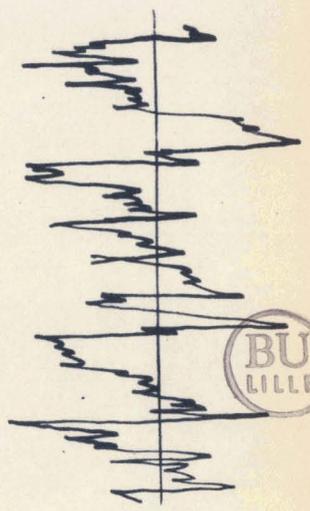


(a)



(c)

(b)



BU  
LILLE

Le changement du poids agissant sur le bras diminue l'amplitude de l'ondulation.

D'autre part le "serrage" de l'écrou fendu sur la vis mère, le réglage progressif des pignons de la boîte de vitesses, une lubrification complète

permettant de rendre les oscillations négligeables sur la courbe enregistrée. (fig 9 c)

On améliore encore le réglage en passant sur la sensibilité la plus grande de l'enregistreur et en procédant de même que précédemment.

On peut considérer que le système mécanique est maintenant réglé. Il est alors possible d'apprécier sa fidélité en comparant divers enregistrements d'une même raie obtenus :

Pour deux "passages" effectués dans le même sens

Pour deux passages effectués dans des sens différents.

L'examen de la courbe 10a permet de constater "l'égalité" des deux enregistrements d'une même raie effectués dans les mêmes conditions et dans le même sens

Les deux courbes enregistrées dans des sens différents sont également superposables (fig 10 a b)

On peut admettre que la "trainée" du photomultiplicateur est négligeable dans les conditions du fonctionnement précédent. Le système mécanique peut être considéré comme fidèle.

c) Enregistrement d'un spectre cannelé dans la région voisine de  $\lambda = 0,6 \mu$

Il est possible d'avoir un bon contrôle sur la régularité du dispositif mécanique en examinant le spectre cannelé donné par un étalon "Pérot et Fabry" éclairé par une lampe à ruban. L'enregistrement obtenu montre une périodicité (figure 11 a) mais l'amplitude est trop petite pour que la courbe soit exploitable.

Il est possible d'augmenter cette amplitude en utilisant comme source un arc au charbon plus lumineux mais les sautes brusques de l'intensité interdisent une mesure correcte.

Avec la lampe à ruban comme source le temps de pose pour un enregistrement photographique est voisin de une demi-heure. Le flux lumineux étant très faible nous avons introduit entre le galvanomètre enregistreur et le photomultiplicateur un amplificateur fonctionnant avec un gain léger. Les courbes obtenues sont alors régulières et l'amplitude suffisante pour que les mesures soient possibles (figure 11 c)

Pour la courbe obtenue avec une vitesse de déroulement du papier de l'enregistreur de 7200 mm/Heure la période moyenne des cannelures enregistrées est 12,6 mm.

Le temps correspondant au passage de 1 cannelure est  $t = 6,3$  s

L'angle de rotation du réseau est  $\theta = 6,3 \cdot 10^{-5}$  radian.

La distance correspondante sur la photographie est

$$d = 2f \theta \quad f \text{ distance focale de l'objectif}$$

$$d = 0,252 \text{ mm}$$

Le nombre de cannelures "prévues" sur 1 mm de photographie est 3,97

Le nombre de de cannelures comptées sur l'enregistrement photographique est pour la même zone 3,90

Cette étude ne peut être considérée comme une mesure précise. Elle permet cependant de donner une première comparaison avec la photographie

d) Enregistrement du spectre du néon au voisinage de  $\lambda = 0,6 \mu$

L'enregistrement effectué avec un "balayage" rapide permet de situer la région étudiée par rapport au spectre des raies du néon. Le "balayage" lent d'une partie de cette région permet l'établissement de la courbe d'étalonnage (fig 11)

Figure 10

Enregistrement d'une roue dans les deux sens  $\rightarrow$  aller a  $\rightarrow$  retour b

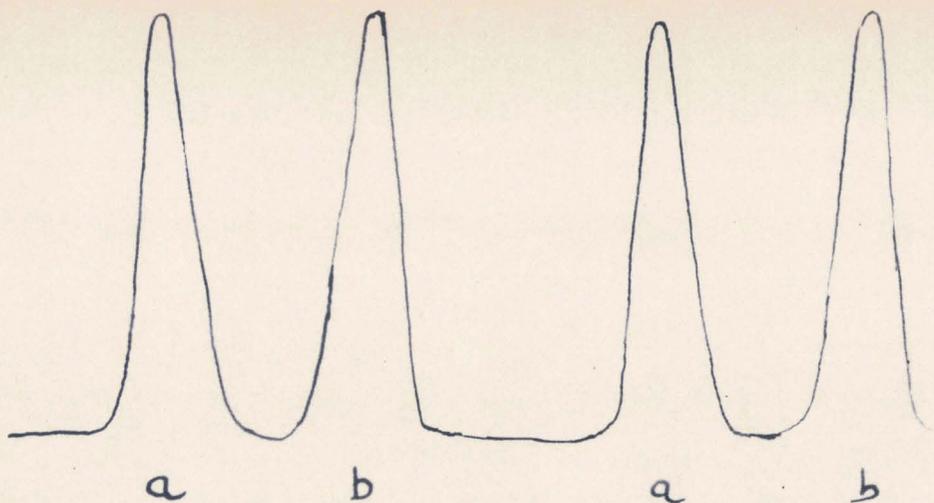
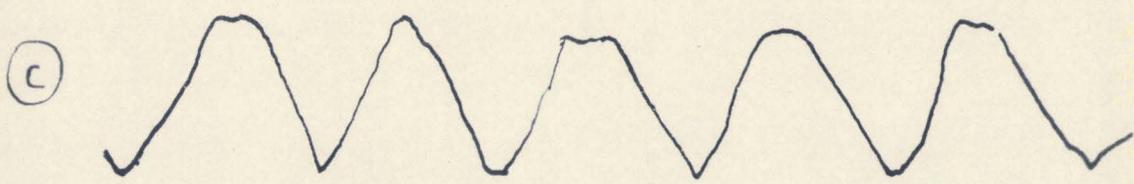
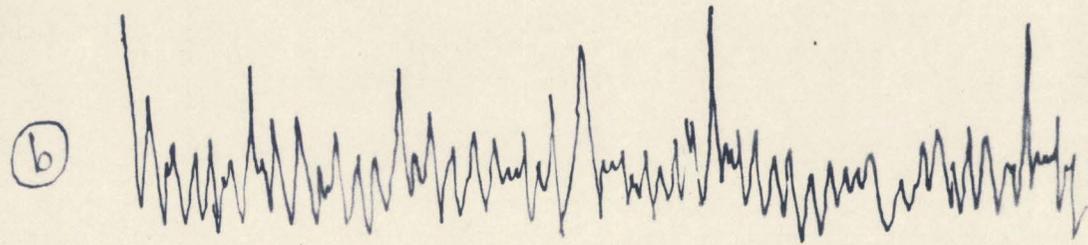
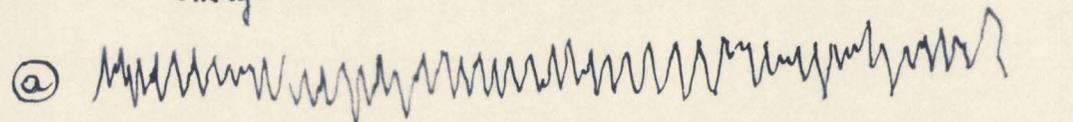


Figure 11

Enregistrement de cannelures



Vitesse 14.4 m/h

Pour la construction de cette courbe nous avons porté en abscisse les longueurs d'onde, en ordonnée les quantités :

$$\lambda - \lambda_0 - d$$

$\lambda$  est la longueur d'onde considérée

$\lambda_0$  est la longueur d'onde référence 6074,338 Å

$d$  est la distance en cm à la raie référence.

La courbe a été établie à partir du tableau ci-dessous :

$\lambda$	$\lambda - \lambda_0$	$d$	$\lambda - \lambda_0 - d$
6074.338	0	0	0
6096.163	21.825	20,55	1.27 (5)
6128.480	54.142	50,70	3.44
6143,062	68.724	64,30	4.62
6163,594	89.256	82,70	6.55
6217,281	142.943	130,60	12.34

Cette courbe est régulière et permet l'appréciation d'une longueur d'onde avec une précision voisine de 0,1 Angström.

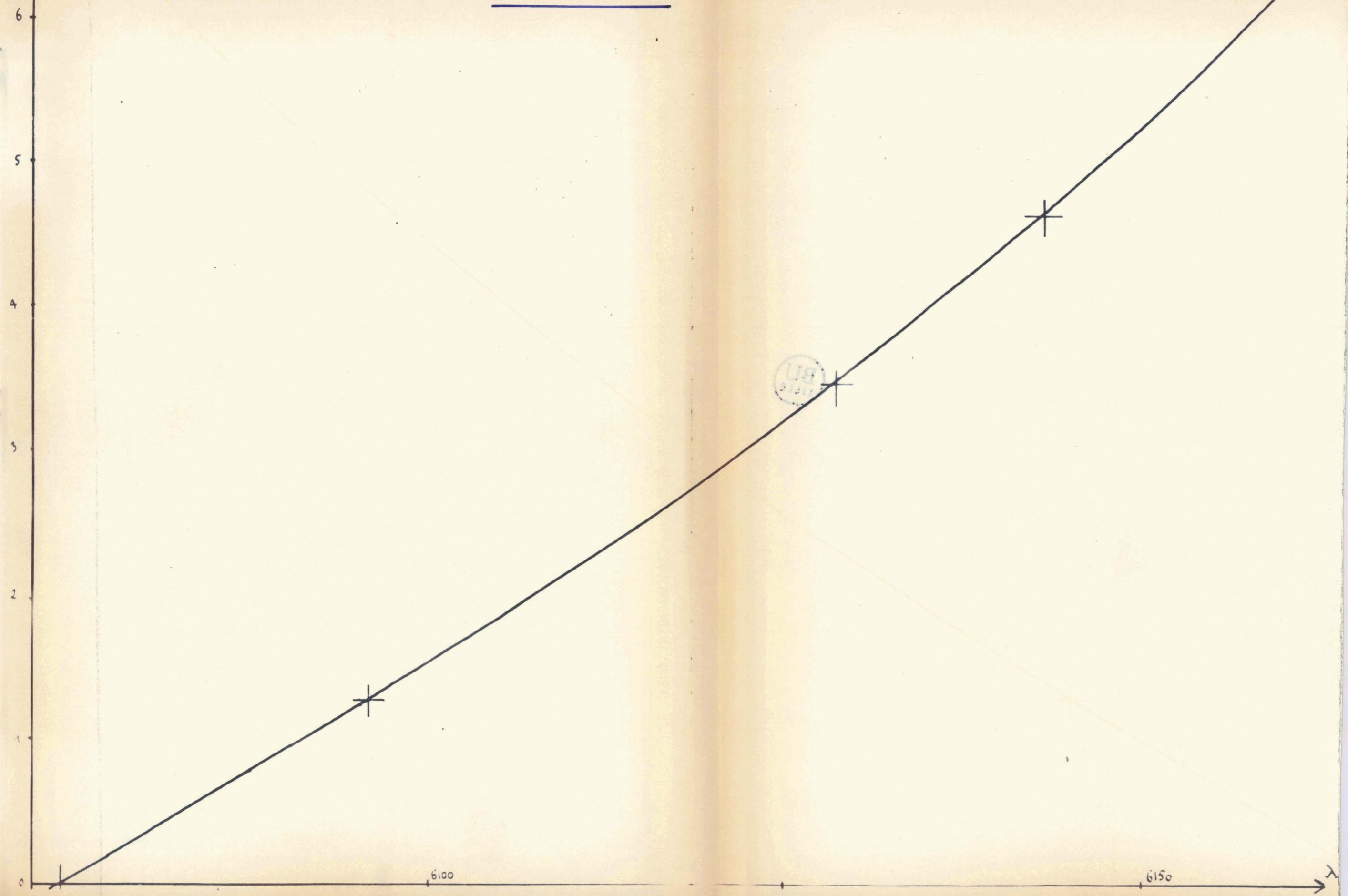
Le réseau comportant 2200<sup>t</sup> par mm utilisé à la vitesse de  $10^{-5}$  radian par seconde a un "pouvoir de séparation" qui est de 0,08 Angström (cf II a)

Il est possible de déterminer la longueur d'onde d'une raie avec une précision qui est voisine de celle donnée par le réseau. On peut donc considérer que le système mécanique est satisfaisant à la vitesse envisagée.

.../...

$n - \lambda_0 - d$

Figure 12: <sup>Partie de la</sup> Courbe d'étalonnage



CONCLUSIONS :

Les résultats obtenus, paragraphe III indiquent que le système mécanique décrit présente la régularité et la vitesse convenant à un enregistrement satisfaisant de la zone spectrale allant de 1,6 à 2,5 microns.

Cependant l'appareil est susceptible d'être amélioré pour une étude plus poussée de la région envisagée. L'amélioration essentielle consisterait à remplacer la "vis mère" par une vis "Bouty" plus travaillée.

L'appareil dans sa forme actuelle peut néanmoins donner satisfaction dans la première étape de l'étude du proche infrarouge.

---

Ce travail a été réalisé dans les Laboratoires de l'Institut de Physique de LILLE, sous la direction de Monsieur le Professeur SCHILTZ. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance pour les conseils qu'il m'a toujours donnés avec bienveillance.

Je tiens à remercier aussi Monsieur le Professeur WERTHEIMER et Monsieur le Professeur BECART qui ont accepté de constituer le jury.

Je tiens à remercier les techniciens et le personnel du Laboratoire pour l'aide qu'ils m'ont apportée.

